

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1 Introducción.**

En el pasado se decía que los agregados eran elementos inertes dentro de los pavimentos ya que no interviene en el comportamiento del mismo. En la actualidad se establece que los agregados tienen mayor porcentaje de participación dentro de la unidad cubica de un pavimento, sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades, la influencia de los agregados en las propiedades del pavimento tienen efectos importantes, como la solidez y durabilidad del pavimento.

En Bolivia no se conoce registros de estudio de canteras con agregados, frente a la acción de solución de sulfatos, porque el tema no es de profundo conocimiento en nuestro medio.

Lo que la autora propone es hacer conocer el procedimiento para conocer la resistencia a la desintegración de los agregados para pavimentos rígidos, por la acción de solución de sulfato de magnesio, de tal manera, se pueda obtener resultados confiables y establecer si estos se encuentran dentro de los parámetros que establece la norma, para posteriormente sean usados estos bancos de material sin tener que acudir a pruebas de laboratorio que demandan más tiempo.

El fundamento de esta investigación, está basado en la norma AASHO T 104, ASTM C 88, AASHO T 96 y ASTM C 131. Su aplicación práctica a la caracterización de los agregados para pavimentos, método de los sulfatos para determinar la desintegración que sirvan además como referencia a futuras investigaciones y de guía para el constructor en el desarrollo de canteras dentro del departamento de Tarija, en la provincia Avilés en el municipio del Valle de la Concepción. En esta investigación se mostrarán los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y con esto se determinará la viabilidad del material en la construcción de estructuras de pavimento, las conclusiones estarán dirigidas a un a ver la calidad de los agregados para pavimentos rígidos.

## **1.2 Justificación.**

Se realiza el estudio de la solidez de los agregados para pavimentos rígido cuando es atacado por sulfato de magnesio, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados. Puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológica.

Se buscara de manera amplia el conocimiento bibliográfico referente a la resistencia a la desintegración de los agregados, las normas, procedimiento del ensayo y otros.

También se realizará unas aplicaciones en los laboratorio de hormigones de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho después de realizar la parte práctica de proyecto se procederá a un estudio de gabinete donde se obtendrá resultados a los a cuales se le realizara críticas y autocríticas.

Este estudio tendrá como finalidad de ver como incide el sulfato de magnesio a la durabilidad de los agregados que será utilizado para pavimentos rígidos.

Se buscara obtener un análisis de resultados a través de conclusiones y recomendaciones para nuevos estudios de investigación para su aplicabilidad en nuestro país.

## **1.3 Planteamiento del problema.**

### **1.3.1 Situación problemática.**

#### **1.3.1.1 Concepto del objeto de investigación.**

La durabilidad de los agregados cuando es atacado por el sulfato de magnesio, para el momento de la construcción de los pavimentos rígidos cuente con una información que ayuda a juzgar la resistencia a la desintegración obtenida por ensayos de laboratorio.

#### **1.3.1.2 Relato del fenómeno o suceso que ocurre.**

En el momento de seleccionar los agregados, para el pavimento rígido, sobre todo para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, puede surgir la incertidumbre de no haber determinado la durabilidad de los agregados correctamente para lograr que no haga deterioro en el pavimento.

### **1.3.1.3 Pronóstico.**

Si la selección de los agregados no es la adecuada, es decir pudo haberse cometido errores, entonces el efecto será que tenga poca resistencia a la desintegración. Traerá como consecuencia el deterioro del pavimento antes de cumplir la vida útil.

### **1.3.1.4 Perspectiva.**

Es necesario estudiar la durabilidad de los agregados a mayor detalle, la selección y establecer una adecuada relación entre los agregados el sulfato y el estudio que se va ejecutar en el laboratorio.

### **1.3.2 Delimitación del tiempo.**

De acuerdo al relato el fenómeno, está ocurriendo en tiempo presente.

### **1.3.3 Delimitación del espacio.**

#### **1.3.3.1 El área de trabajo.**

Está en los agregados para pavimentos.

#### **1.3.3.2 Base de operaciones.**

Estudio de la resistencia de desintegración de los agregados que se saturaran con sulfato de magnesio en el laboratorio.

#### **1.3.3.3 Aplicación.**

En el pavimento rígido que será construidos con agregados que tengan información de solidez.

### **1.3.4 Determinación del problema de investigación.**

¿Cómo, incide el sulfato de magnesio en la durabilidad de los agregados para pavimentos rígidos?.

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Estudiar la durabilidad de los agregados para pavimentos rígidos, cuándo se le adicionan diferentes cantidades de Sulfato de Magnesio; de acuerdo a su cantera de origen.

### **1.4.2 Objetivos específicos.**

- Seleccionar la teoría científica relacionada con la durabilidad de agregados con Sulfato de Magnesio.
- Caracterizar con ensayos específicos los agregados que serán sometidos al Sulfato de Magnesio.
- Establecer el valor de las propiedades de solidez y durabilidad de los agregados después de ser sometidos al Sulfato de Magnesio.
- Establecer tablas comparativas de resultados referenciando las canteras de explotación.
- Elaborar especificaciones técnicas de las canteras que estudiadas.

### **1.5 Alcance.**

El alcance de la presente investigación se define por ser una investigación experimental, debido a que existen variables independientes manipulables; por ejemplo las cantidades de Sulfato de Magnesio, están definidas por el investigador pese a que existen datos propuestos en las especificaciones técnicas. De acuerdo a la manipulación de estas variables se obtienen diferentes valores de sus variables dependientes, como ser la solidez y durabilidad de los agregados.

Su categoría se define de acuerdo al grado de control interno en el desarrollo de esta investigación, de acuerdo a las condiciones regulares que presenta el laboratorio se puede identificar que se trata de un “Cuasi Experimento”, estableciendo una confiabilidad de resultados con su tratamiento estadístico y su validación externa con la respectiva prueba de hipótesis.

La investigación se realiza en la provincia Avilés en el municipio del Valle de la Concepción de la ciudad de Tarija, más propiamente en el municipio de Uriondo, en los siguientes puntos:

- Rio Camacho zona Valle de la Concepción (La extracción de los agregados se efectuó aproximadamente a 27 km de la ciudad de Tarija, en la zona 41, latitud 21°42'27.51''S, longitud 64°39'0.13''O).

- Rio Camacho zona de San Nicolás (La extracción de los agregados se efectuó aproximadamente a 32 km de la ciudad de Tarija, en la zona 20, latitud 21°42'54.50''S, longitud 64°42'3.68''O).
- Rio Camacho en la quebrada de San José de Charaja (La extracción de los agregados se efectuó aproximadamente a 32 km de la ciudad de Tarija, en la zona 48, latitud 21°42'54.50''S, longitud 64°42'3.68''O).

La extracción se realizó en Valle de la Concepción porque estos materiales son los que emplean para las construcciones en Tarija.

## 1.6 Formulación de la hipótesis.

### 1.6.1 Hipótesis.

El sulfato de magnesio en cantidades saturables incide y deteriora en la durabilidad de los agregados.

### 1.6.2 Identificación de variables.

- La variable independiente:  
La cantidad de sulfato de magnesio.
- La variable dependiente:  
La durabilidad.

### 1.6.3 Conceptualización y operación de las variables.

Tabla 1: Variable independiente

Variable independiente	Concepto	Indicador	Dimensiones	Valor y accion
La cantidad de sulfato de magnesio	Es un compuesto químico, que se sumerge a masa de los agregados	Masa de agregados	Gramos (g)	Preparación previa de la muestra según la norma
		Solución de sulfato	Porcentaje (%)	Preparación previa de sulfato de magnesio diluyendo el sulfato en agua.
		Mezcla de agregados y sulfato de magnesio	Porcentaje (%)	Sumergir los agregados en el solución de agua y magnesio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Variable dependiente

Concepto	Indicador	Dimensiones	Valor y accion
Se refiere al procedimiento de determinar la desintegracion de los agregados mediante la solucione de sulfato de magnesio	Desintegración	Porcentaje (%)	La perdida de masa promedio despues de cinco ciclos completados no debe exceder los valores maximos de la perdida de peso experimentada por los agregados

Fuente: Elaboración propia

## **1.7 Diseño metodológico y técnicas de la investigación.**

### **1.7.1 Identificación del tipo del diseño de investigación.**

En esta sección se explica la metodología a seguir para desarrollar el trabajo experimental de laboratorio, con este fin, se establecen parámetros fijos y parámetros variables que permitan llevar un procedimiento de manera ordenada y que puedan servir de guía para explicar las posibles variaciones que se presenten en los resultados de las diferentes pruebas a realizar.

### **1.7.2 Fundamentos para el diseño metodológico de la investigación.**

Los fundamentos del diseño metodológico, están referidos a los conceptos básicos de la estadística; que además ayudan a definir criterios adecuados en el momento de la toma de decisiones, induciendo a optimizar la estructuración en una investigación.

El determinar la población y la muestra, ha causado problemas a los investigadores; la complejidad de los temas, puede desorientar y ocasionar fácilmente desvíos de la investigación y por lo tanto exista una pérdida de tiempo innecesaria.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la presente tesis es una investigación de diseño experimental del tipo cuasi experimental por que manipula una variable independiente que busca establecer una relación en la durabilidad.

### **1.7.3 Identificación del tipo del diseño de investigación.**

Es una investigación de diseño experimental del tipo cuasi experimental.

### **1.7.3.1 Selección de las técnicas de muestreo.**

Mediante un muestreo sistemático en combinación con un muestreo simple no aleatorio. Con el empleo de la combinación de estas dos técnicas, se establece un muestreo probabilístico de selección de muestras. La selección de cuadrícula por toda la superficie de la cantera nos indica que se podría obtener información de granulometría de una forma muy representativa a la zona que se quiere estudiar.

Se elegirán los lugares por conveniencia a criterio del investigador, cuando se crea que los lugares seleccionados puedan brindar mejor información a la investigación.

## **1.8 Métodos y procedimientos lógicos.**

### **1.8.1 Listado de actividades a realizar.**

- Extracción de muestras.
- Caracterización en laboratorio de los agregados (granulometría).
- Ensayos de solidez por método de sulfato de magnesio.
- Ensayos desgaste de los Ángeles (durabilidad).
- Procesamiento de datos.
- Elaboración de gráficas.
- Realizar un análisis estadístico.
- Elaboración de documento final.

## **1.9 Métodos y procedimientos lógicos.**

### **1.9.1 Identificación de la perspectiva.**

Es necesario estudiar la durabilidad de los agregados que son atacados por sulfatos, de tal manera que se pueda saber la resistencia de desintegración que tiene los agregados para que el pavimento rígido se construido con agregados de calidad que no sufra deterioro.

### 1.9.2 Listado de actividades a realizar; junto a los insumos y medios utilizados.

Tabla 3: Listado de actividades

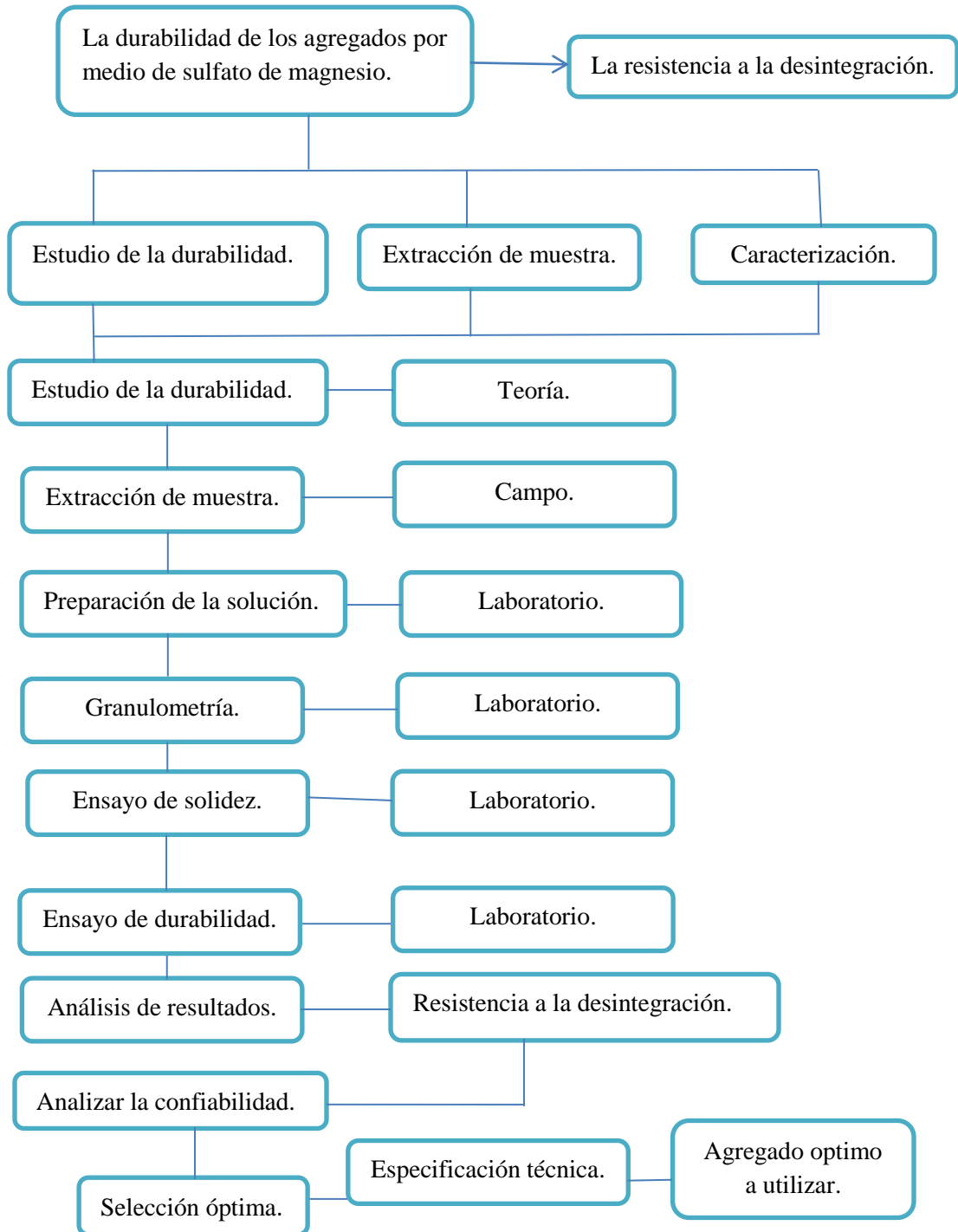
IT	Actividades	Tiempo (días)	Recursos /insumos	Criterios
	Productos			
3,0	Laboratorio			
3.1	Preparación de la solución.	2	Herramientas menores para solución.	Compra del sulfato de magnesio y preparar dejar 2 días en reposo.
3.2	Inspección del lugar de la extracción de los agregados.	2	Herramientas menores para muestreo.	Extraer el material de canteras naturales que se encuentran ubicados en provincia Avilés en el municipio del Valle de la Concepción.
3.3	Ensayo de granulometría de suelo.	10	Series de tamices, balanzas, cucharas, etc.	Obtención del porcentaje del material que pasa cada tamiz de las series de tamices estándar y graficar una curva granulométrica.
3.4	Ensayo de solidez.	30	Balanza, termómetro, horno, etc.	Determinar la pérdida de masa de los agregados después de completar 5 ciclos inversión en solución de sulfato de magnesio.
3.5	Ensayo de durabilidad (Desgaste de los Ángeles).	5	Máquina del desgaste de Ángeles, tamices, etc.	Determinar por medio de la máquina la resistencia a la trituración o abrasión de los agregados.
3.6	Tabulación de datos.	10	Materiales de escritorio.	Corresponde la tabulación y verificación de datos, para identificar posibles fallas de forma oportuna.

Fuente: Elaboración propia



**1.9.3 Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva.**

Figura 1: Esquema de actividades



Fuente: Elaboración propia

### **1.10 Análisis de resultados.**

Se buscara de manera amplia el conocimiento bibliográfico referente a la resistencia a la desintegración de los agregados, las normas, procedimiento del ensayo y otros.

También se realizará unas aplicaciones en los laboratorio de hormigones de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho después de realizar la parte práctica de proyecto se procederá a un estudio de gabinete donde se obtendrá resultados a los a cuales se le realizara críticas y autocríticas.

Este estudio tendrá como finalidad de ver como incide el sulfato de magnesio a la durabilidad de los agregados que será utilizado para pavimentos rígidos.

Se buscara obtener un análisis de resultados a través de conclusiones y recomendaciones para nuevos estudios de investigación para su aplicabilidad en nuestro país.

#### **1.10.1 Selección de programa a utilizar.**

El programa que se va utilizar es el Microsoft Word y Excel.

#### **1.10.2 Estadística descriptiva.**

##### **1.10.2.1 Variable independiente.**

$X_1$ = La cantidad de sulfato de magnesio →Medidas de tendencia central y sus medias de dispersión.

##### **1.10.2.2 Variable dependiente.**

$Y_1$ = La durabilidad →Medidas de tendencia central y sus medias de dispersión.

## CAPITULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO

#### **2.1 Aspectos generales de los agregados y su relación con la durabilidad.**

En el desarrollo de este capítulo de investigación se ha tomado en cuenta la información y el conocimiento secundario disponible, ya que es necesario tener un concepto claro de los componentes y etapas que se trataran en el presente estudio, referidos a la calidad de los agregados para su posterior uso en pavimento rígido.

##### **2.1.1 Marco teórico.**

Como se planteó en la introducción, el objetivo de investigación del presente trabajo se pretende visualizar desde la perspectiva del material, específicamente de los agregados, bajo esta óptica, los siguientes componentes ayudaran a analizar la solidez de los agregados.

Método de los sulfatos para determinar la desintegración ASTM C 88, AASHTO T 104. Este método suministrara una información útil para jugar a calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climáticas de la obra.

Para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles ASTM C 131, AASHTO T 96 en la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión. En Norteamérica la más generalizada es el denominado ensayo de los Ángeles consistente en colocar una muestra de agregado con granulometría especificada en un cilindro rotatorio horizontal conjuntamente con un número de bolas de acero aplicando al tambor un numero dado un numero dado de vueltas. El porcentaje de material fragmentado constituye un número dado. El ensayo de los Ángeles esta normalizado por el ASTM, Los resultados han evidenciado correlación con el comportamiento del concreto en pavimento por otra parte se estima como un indicador de la calidad del agregado.

Para el caso específico y tema central de esta tesis, la investigación se centrara en el ataque a los agregados, el causado por el sulfato de magnesio.

## **2.2 Conceptos de los agregados como componente del pavimento rígido.**

### **2.2.1 Resistencia y durabilidad de los agregados.**

Por su propia naturaleza, la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de sus agregados. Sin embargo, la resistencia a la a compresión del pavimento rígido es convencional, dista mucho de la que corresponde a la mayoría de las rocas empleadas como agregados.

Lo expresado anteriormente es de fácil comprobación, si se observa la fractura de los especímenes de concreto sometidos a ensayos de compresión. En ellos, la rotura se presenta en el mortero o en la zona de adherencia con el agregado grueso y por excepción en los agregados descompuestos o alterados. Pocas veces se determina la resistencia de compresión de los agregados, en estos casos se evalúan la resistencia de la roca. Los resultados obtenidos no son indicados, por la influencia intrínseca de los posibles planos débiles de la roca y lo incierto de extrapolar valores a las partículas fragmentadas.

#### **2.2.1.1 La durabilidad.**

La durabilidad del hormigón es la capacidad que tiene de resistir a la acción del ambiente, ataques físicos, químicos, físicos y biológicos o cualquier otro proceso que tienda a deteriorarlo.

Conocer la durabilidad de un hormigón es un proceso complejo en el cual están involucrados diferentes factores:

- Las condiciones ambientales.
- Los materiales componentes del hormigón.
- El diseño estructural de la obra.
- La calidad de ejecución de la obra.
- Los sistemas de protección adoptados.

#### **2.2.1.2 Acciones físicas.**

Un hormigón endurecido puede deteriorarse como consecuencia de acciones físicas de naturaleza muy diferentes:

- El agua puede penetrar en el hormigón y si esta se hiela dará lugar a tensiones que podrán destruirlo. Se conoce como ciclos de hielo-deshielo.
- Si los áridos presentan coeficientes de dilatación térmica diferentes al de la pasta, los cambios fuertes de temperatura crearán tensiones reduciendo sus resistencias y destruyéndolos.

### **2.3 La estabilidad de los agregados.**

El comportamiento de los agregados en los concretos a la acción de las heladas se evalúa por el conocimiento de su comportamiento histórico en obras similares. Cuando esto no es posible o se quiere una opinión más sustentada, se recomienda efectuar una de las pruebas siguientes:

El ensayo de congelamiento o de inmersión en sulfato de magnesio se establece una similitud entre el ensayo y la realidad.

El comportamiento del concreto expuesto a la congelación guarda relación con la estructura de poros de los agregados. En efecto, si el agregado tiene un alto coeficiente de absorción puede ocurrir que cuando el agua pasa del estado líquido al sólido por el congelamiento, la expansión de volumen provoca tensiones internas muy elevadas que ocasionan el agrietamiento o desintegración del concreto.

Dentro de las pruebas de desgaste en la mayoría de las normas sobre agregados se establecen pruebas de desgaste o abrasión la más generalizada es el denominado ensayo de desgaste de los Ángeles consistente en colocar una muestra de agregado con granulometría especificada en un cilindro rotatorio horizontal conjuntamente con un número de bolas de acero aplicado un tambor un número dado de vueltas.

El porcentaje de material fragmentado constituye un indicador de calidad. El ensayo de los Ángeles está normalizado por el ASTM los resultados han evidenciado relación con el comportamiento del concreto en pavimento por otra parte se estima como un indicador de la calidad de agregado.

## **2.4 La desintegración.**

La desintegración es la separación progresiva de partículas de agregado en el pavimento, desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia el interior. La desintegración puede ser causada por:

- Falta de compactación.
- Construcción de una capa muy delgada en periodos fríos.
- Agregado desintegrable.
- Muy poco asfalto en la mezcla.
- Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

## **2.5 Ataque de los sulfatos.**

Los sales en estado solido no atacan al concreto, pero cuando se encuentran en solucion pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecido. El ataque de sulfatos causa graves deterioros en el concreto aunque con una relacion agua/cemento baja el deterioro se da despues de 2 o 3 años.

El grado de ataque al concreto depende tambien de la velocidad con que el sulfato removido por la reaccion con el cemento puede ser reemplazado. Para estimar el peligro del ataque del sulfatos debe conocerse el movimiento de agua freatica. Cuando concreto esta expuesto agua sulfatada hasta saturar seguida del secado se produce deterioro rapido.

La resistencia del concreto al ataque de sulfatos puede determinarse en el laboratorio mediante la inmersión de muestras en una solución de sulfato de magnesio, Al humedecer y secar sucesivamente se acelera el daño debido a la cristalización de las sales en los poros del concreto o agregados. Los efectos de exposición pueden estimarse por la pérdida de resistencia de la muestra por los cambios elasticidad, expansión, pérdida de masa o incluso con una inspección visual.

Los sulfatos en forma de sales más agresivas son:

- Sulfato de sodio.
- Sulfato de magnesio.

## **2.6 Solidez de los agregados frente a la acción de solución de sulfato de magnesio.**

La solidez de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos en volumen debido a cambios en las condiciones ambientales como congelamiento, deshielo, calentamiento y enfriamiento, humedecimiento y secado, los agregados afectan la durabilidad del concreto y pueden no solo comprometer su aspecto superficial (descaramientos) sino también la estabilidad de una estructura (agrietamientos internos). La capacidad de los agregados para soportar estos cambios desde luego depende de la procedencia, granulometría, forma, porosidad y propiedades mecánicas de sus partículas.

La norma AASTHO T 104 describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concreto y otras aplicaciones. Este efecto se simula sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de magnesio seguida de secado al horno para deshidratar parcial o complemente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado, la fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de re inversión simula la expansión del agua por congelamiento.

Mediante este método se puede obtener información útil para jugar la resistencia de los agregados a la acción de los agentes atmosféricos cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear en las condiciones climatológicas reales de servicio.

Las pérdidas de ensayo de solidez (norma de ensayo AASHTO T-104) no podrán superar el 18% según se utilice sulfato de magnesio.

### **2.6.1 Importancia y uso.**

Este método de ensayo brinda en procedimiento para hacer una valoración preliminar de la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos y para otros propósitos. Los valores obtenidos se pueden comparar con los indicados en las especificaciones con el fin de establecer la aptitud de un agregado para un determinado uso. Dado que la precisión de este método de ensayo es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes no se puede dar sin confinar los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material.

Los valores de las pérdidas resultantes al aplicar este método son generalmente diferentes para agregados finos y agregados gruesos. Además se llama la atención sobre el hecho de que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que ser cuidadoso al fijar los límites de cualquier especificación que incluya un requisito en relación con este ensayo. Normalmente el ensayo es más severo cuando se usa sulfato de magnesio por lo tanto los porcentajes de pérdida permitidos que sean mayores que cuando se usa sulfato de sodio.

### **2.6.2 Sanidad de los agregados.**

El agregado es considerado insano cuando los cambios de su volumen causados por el clima como los ciclos alternados de mojado y secado o de congelamiento y descongelamiento resultan en el deterioro del concreto. La falta de sanidad se muestra generalmente en las rocas que tienen una estructura característica de poros. Los concretos que contienen pizarras, rocas calizas y rocas areniscas han sido hallados susceptibles de daños por congelación y por cristalización de sales dentro de los agregados. Aunque se utiliza a menudo la alta absorción de humedad como un índice de falta de sanidad muchos agregados como la roca pómez y las arcillas expandidas pueden absorber grandes cantidades de agua y permanecer sanas.

La falta de sanidad está relacionada por lo tanto con la distribución del tamaño de los poros más que con la porosidad total del agregado. La distribución del tamaño de poros que permite a las partículas del agregado saturarse al mojarse (o descongelarse en el caso de congelación) pero evita el fácil drenado al secarse (o congelarse) es capaz de causar altas presiones hidráulicas dentro del agregado. La sanidad del agregado al desgaste por la acción ambiental es determinada por el método ASTM C 88, AASHTO T 104 que describe un procedimiento estándar para determinar directamente la resistencia del agregado a la desintegración al exponerlo a cinco ciclos de humedecimiento y secado se utiliza solución saturada de magnesio para el ciclo de humedecimiento.



## 2.7 Concepto del hormigón.

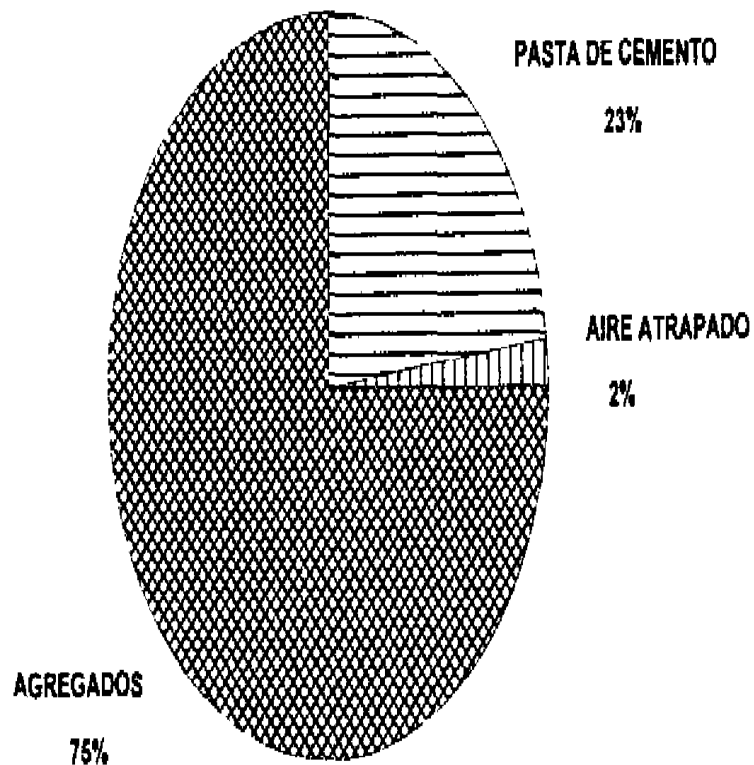
El hormigón es el producto resultante de la mezcla homogénea de pasta de un aglomerante, arena, grava o piedra y agua, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días.

El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire.

Los integrantes del concreto se encuentran distribuidos tomando como base su peso en los porcentajes:

Pasta (cemento y agua) 23% a 25%, agregados (arena y grava) 73% a 75% y aire atrapado 2%.

Figura 2: Componentes del concreto en porcentajes



Fuente: Tecnología del concreto (Juan Luis Cottier Caviedes)

El concreto es el material más empleado en la construcción, gracias a su fácil moldeo, su facilidad de incorporar otro material y su costo. Requiere de actividades bien definidas y cuidadosamente supervisadas para lograr el éxito garantizado el cumplimiento de su resistencia a compresión simple, estabilidad volumétrica y durabilidad.

## **2.8 Los agregados.**

Los agregados son componentes derivados de la trituración natural o artificial de diversas rocas y pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de roca. Junto con el agua y el cemento conforman el trio de ingredientes necesarios para la fabricación de concreto.

Los agregados son relativamente económicos y no entran en reacciones químicas complejas con el agua; por lo tanto, ha sido costumbre tratarlos como un relleno inerte en el concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar varias propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo seriamente cuestionada.

Las características del agregado que son significativas para la tecnología del concreto incluyen la porosidad, la graduación o distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.

Estas características se derivan de la composición mineralógica de la roca original (que es afectada por los procesos de formación geológica), las condiciones de exposición a que la roca ha estado sujeta antes de formar el agregado y el tipo de operación y de equipo que se ha utilizado para producir el agregado.

Es de vital importancia considerar las características de los agregados para ser incluidos en el concreto las características de los agregados que influyen en el concreto se muestra:

Tabla 4: Características de los agregados

Propiedades del concreto	Características de los agregados
Durabilidad	Composición mineralógica textura
Resistencia	Superficial
Cambio de volumen	Módulo de elasticidad
Peso específico	Coefficiente de dilatación termica
Módulo de elasticidad	Resistencia a la tensión
Resistencia al desgaste	Absorción
Dosificación	Permeabilidad
Trabajabilidad	Estructura de los poros
Bombeabilidad	Estabilidad de volumen
Acabado del concreto	Granulometría
Tiempo de fraguado	Tamaño máximo
Exudación	Finos
Economía	Forma
	Estabilidad química
	Sales solubles
	Adherencia en los granos
	Partículas de arcilla
	Materia orgánica
	Sensibilidad al agua
	Solubilidad en agua

Fuente: Tecnología del concreto (Juan Luis Cottier Caviedes)

Los áridos constituyen el esqueleto del hormigón y son responsables de buena parte de las características del mismo pues son un elemento mayoritario.

Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, no deben contener arcillas, limos ni materias orgánicas. No deben ser deteriorarse con los ciclos de heladas en general los áridos de baja densidad son pocos resistentes y porosos.

Los áridos normalmente se clasifican en fracciones definidas por su tamaño máximo y su tamaño mínimo.

### 2.8.1 Agregados gruesos.

Se llama agregado grueso a la piedra chancada que debe provenir de la piedra o grava ya sea rota o chancada. La piedra que es de grano duro y compacto debe estar limpia de polvo, barro u otra sustancia en caso de presentarse se debe eliminar con un proceso adecuado de lavado.

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón.

Clasificación por modo de fragmentación:

- **Naturales:** Fragmentados por procesos naturales.
- **Manufacturado:** Fragmentados por procesos artificiales como la trituración que resultara del machaqueo mecánico de piedra sólida.

La selección en el laboratorio para certificar la calidad es el tamaño mínimo o el punto de división generalmente es N° 4 (4.75mm) los agregados con diámetro mayor se considera grueso.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de grava, gravilla o roca deberá ser generalmente cubica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

El agregado grueso deberá estar de acuerdo con las especificaciones ASTM AASHTO (el uso de la norma está sujeto al país en el cual se aplique la misma, ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país).

Tabla 5: Especificaciones técnicas

Sustancia	Norma	Limites máximos (%)
Material que pasa por el tamiz N° 200	ASTM C 117	0.50
Grumos de arcilla	ASTM C 142	0.50
Perdida por interperismo	ASTM C 88	18
Perdida por abrasión en la maquina de los Ángeles	ASTM C 131	40

Fuente: Elaboración propia

### **2.8.2 Modulo de finura.**

El módulo de finura, también llamado módulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de módulo de finura.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (nombrados más abajo) y dividiendo la suma entre 100. Para no tener que recalcular la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de  $\pm 0.20$ .

#### **2.8.2.1 Modulo de finura del agregado grueso.**

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 3'', 2<sup>1/2</sup>'', 2'', 1<sup>1/2</sup>'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', 1/4'', N° 4 + bandeja y dividiendo el total entre 100.

$$MF = \frac{(\%)Ret. Acum (3'', 2\frac{1}{2}'', 2'', 1\frac{1}{2}'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', 1/4'', N^{\circ} 4 + (bandeja))}{100}$$

Es un indicador de la finura de un agregado es: Cuanto mayor sea el método de finura, más grueso es el agregado. Por lo general el rango del módulo de finura del agregado grueso es de 5.50 a 8.90.

#### **2.8.3 Tamaño máximo (Da o TM).**

Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida, que deja pasar el 100 % de la masa del árido.

#### **2.8.4 Tamaño máximo nominal (Dn o TMN).**

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15 % o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y

comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

- El TMN no debe ser mayor que  $1/5$  de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.
- El TMN no debe ser mayor que  $1/3$  del espesor de una losa.
- El TMN no debe ser mayor que  $3/45$  del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

### **2.8.5 Agregado fino.**

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del concreto u hormigón.

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.

Existen varias definiciones de tamaños para partículas de arena, la más común en nuestro medio explica a la arena como aquel material granular que pasa la malla N° 4 (malla con abertura 4.75mm) y se retiene en la malla N° 200.

La arena es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de tamaño pequeño provenientes de canteras aluviales o de arena triturada artificialmente. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0.06 y 2 mm. Las partículas por debajo de los 0.06 mm y hasta 0.004 mm se denominan limo. La forma de las partículas deberá ser generalmente cubica esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas.

En general el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la norma ASTM AASTHO es decir no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, material orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

### **2.8.6 Modulo de finura agregado fino.**

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2.30 y 3.10 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

El módulo de finura (FM) del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son: N° 4, N° 8, N° 10, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y dividiendo el total entre 100.

$$MF = \frac{(\%) \text{Ret Acum (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 10, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100, \text{N}^\circ 200)}{100}$$

Si el módulo de finura de una arena es de 2.30 se trata de una arena fin y si el modulo se encuentra entre 2.30 a 3.10 se trata de una arena mediana. Y si el modulo es mayor que 3.10 se trata de una arena gruesa.

## **2.9 Unidades de estudio y decisión muestral.**

### **2.9.1 Definición unidad de estudio o muestreo.**

Es el elemento, persona u objeto del cual se puede extraer información relacionada a la investigación, es el elemento que debe ser medido, también se la denomina la unidad de muestreo.

### **2.9.2 Definición de población.**

Es el conjunto de elementos como ser, individuos objetivos propiedades, medidas u otros que comparten alguna característica observable en un lugar y en un momento dado para contribuir a un evento o fenómeno.

### **2.9.3 Definición de muestra.**

Es una parte representativa que se toma de la población, a veces la población es demasiado grande para poderla estudiar en un 100 %. Por lo que es necesario tomar un

número reducido considerando que usa muestra, nos brindara una representación aproximada de las características o particularidades que estamos estudiando.

En algunos casos la muestra es la misma población, dependiendo de lo que define el objetivo de investigación, la muestra conteniente las variables que serán medidas para que pueda evolucionar el proceso de investigación.

#### **2.9.4 Definición de muestreo.**

Cuando se usa el termino probabilístico es una muestra, significa que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Para ello, los elementos deben ser sometidos a procedimientos que define el investigador de acuerdo a la técnica que ha seleccionado en la definición de su muestra.

Para la presente investigación se definió y se realizó un muestreo probabilístico, muestreo simple no aleatorio.

Muestreo simple no aleatorio se elige los elementos por conveniencia a criterios del investigador, cuando crea que los elementos seleccionados pueden brindar mejor información a la investigación.

#### **2.10 Propiedades resistentes.**

##### **2.10.1 Resistencia.**

La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia (ASTM C 131, AASHTO T 180).

Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.



### **2.10.1.1 Resistencia a la degradación de los agregados por la máquina de los Ángeles.**

La norma AASTHO T 96 describe el procedimiento para medir la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor creando un efecto de impacto y trituración entonces la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo.

Tras el número específico de revoluciones se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación como un porcentaje de pérdida.

#### **2.10.1.1.1 Importancia y uso de la maquina desgaste de los Ángeles.**

En cuanto a su importancia y uso de este ensayo se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones validas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones específicas para ensayo de abrasión de los Ángeles máximos es 40 % según la norma ASTM 131 y AASHTO T 96.

### **2.10.2 Dureza.**

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende por lo que se considera que esta propiedad depende de la composición del material (ASTM C 131, AASHTO T 180). Los agregados gruesos a emplear en los concretos deben poseer una alta resistencia a la abrasión, para evitar el desgaste de los mismos y así garantizar la calidad como tal.

Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarzita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

### **2.11 Teoría estadística que utiliza la investigación.**

La estadística es una ciencia matemática que se utiliza para describir, analizar e interpretar la información para obtener la solución al problema, las características de un conjunto de individuos población.

La estadística se divide en dos ramas:

- Estadística Descriptiva.
- Estadística Inferencial.

#### **2.11.1 Estadística descriptiva.**

Se ocupa de los métodos de recolección, visualizar, descripción y resumen de datos que se origina a partir de los fenómenos en estudio. Este tipo de estadística calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización y de dispersión que describen el conjunto de estudio.

Este estudio por lo general no pasa a ser un análisis más profundo de la información es un primer acercamiento a la información.

##### **2.11.1.1 Parámetros estadísticos muestrales.**

Los parámetros muestrales son resúmenes de la información contenida en la muestra que determinan su estructura.

Los parámetros muestrales son variables aleatorias (no son constantes) pues sus valores dependen de la estructura de la muestra que no es siempre la misma. Como consecuencia de la naturaleza aleatoria del muestreo. A estos parámetros se los suele llamar estadísticos.

##### **2.11.1.2 Máximo.**

El máximo es el valor de datos más grande en la muestra. Utilice el máximo para identificar un posible valor atípico o un error de entrada de datos.

Una de las maneras más sencillas de evaluar la dispersión de los datos consiste en comparar el mínimo y el máximo.

### **2.11.1.3 Mínimo.**

El mínimo es el valor de datos más pequeño en la muestra. Utilice el mínimo para identificar un posible valor atípico o un error de entrada de datos. Una de las maneras más sencillas de evaluar la dispersión de los datos consiste en comparar el mínimo y el máximo.

### **2.11.1.4 La media aritmética.**

En matemáticas y estadística, la media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria, recibe el nombre de media muestral, siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. La medida de tendencia central más utilizada es la media.

Las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable. Dicho en otros términos las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. De esta forma, ambos tipos de medidas usadas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión.

### **2.11.1.5 Desviación estándar de una muestra.**

Una desviación estándar de una muestra estima la desviación estándar de una población basada en una muestra aleatoria. La desviación estándar de la muestra, a diferencia de la

desviación estándar de la población, es una estadística que mide la dispersión de los datos alrededor de la media de muestra.

En las estadísticas, la "media" es igual a la media de un conjunto de números; para obtenerla, los investigadores suman una lista de números y dividen el total por la cantidad de números en la lista.

Para calcular la desviación estándar de la muestra:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

#### **2.11.1.6 Desviación estándar de una población.**

La desviación estándar de una población les da a los investigadores la cantidad de dispersión de los datos de una población entera de los encuestados. Una desviación estándar de la población representa un parámetro, no una estadística.

Los parámetros se refieren a una propiedad numérica de una población. Una estadística, por el contrario, significa que un número se puede calcular a partir de los datos. Los investigadores utilizan las estadísticas para estimar parámetros.

Para calcular la desviación estándar de la poblacional:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

#### **2.11.2 Estadística inferencial, seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.**

Es una parte de la estadística que comprende los métodos y procedimientos para deducir propiedades de una población a partir de una pequeña parte de la misma muestra.

Su objetivo es obtener conclusiones útiles para hacer deducciones sobre una totalidad, basándose en la información numérica de la muestra.

Se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa

para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio.

Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas sí/no (prueba de hipótesis), estimaciones de unas características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).

Estos principios son utilizados en los sistemas de control de calidad en los laboratorios de ensayo se generan valores numéricos y características particulares referentes a una muestra y luego se realiza una inferencia para caracterizar y asignar un valor numérico que describa a la población en relación con valores esperados.

Sirve para inducir lo que se tiene que hacer en la investigación, los métodos dependerán del número de ensayos.

Se divide en dos partes:

- Determinación de errores medios y valores aceptados.
- Prueba de hipótesis.

$$\epsilon_{xi} = \sqrt{\frac{\sum(xi-x)^2}{n-1}} = \text{Error medio de serie de datos.}$$

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{xi}}{\sqrt{n}} = \text{Error medio de la media.}$$

$$\epsilon_x = Z * \epsilon_x = \text{Error probable.}$$

### **2.11.2.1 Estadística para prueba de hipótesis.**

Es un procedimiento basado en la evidencia muestral y en la teoría de probabilidad que se emplea para determinar si la hipótesis es un enunciado racional y no debe rechazarse o si es irracional y debe ser rechazado.

Si los datos son congruente con la hipótesis en consecuencia se considera hipótesis es falsa o verdadera.

Una parte muy importante de la investigación relacionada con la hipótesis es el procedimiento estadístico que debe seguirse para comprobar o realizar una prueba de hipótesis. Esta suposición debe ser comprobada por los hechos ya sea en la experimentación o en la práctica, el no comprobarla significa que es falsa, con llevando esto a que los fenómenos que se pretende explicar deben ser observados nuevamente con miras a reformular la conjetura.

La exigencia de la comprobación empírica, constituye uno de los criterios que dan la posibilidad de eliminar de las ciencias experimentales cualquier tipo de proposición especulativa, así como las generalizaciones inmaduras y superficiales y las suposiciones arbitrarias.

Básicamente la prueba de hipótesis puede resumirse en los siguientes pasos:

#### **2.11.2.2 Formulación de la hipótesis.**

Aquí se plantea la hipótesis nula o hipótesis de trabajo ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna o hipótesis del investigador ( $H_1$ ) que surgen del problema u objeto de estudio.

#### **2.11.2.3 Selección de la prueba estadística acorde al estudio.**

Se debe de elegir la prueba estadística tomando en consideración las características del estudio que estamos llevando a cabo.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} = \mu \\ H_1: \bar{X} \neq \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \leq \mu \\ H_1: \bar{X} > \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \geq \mu \\ H_1: \bar{X} < \mu \end{array} \right.$$

#### **2.11.2.4 Establecimiento del nivel de significación.**

En este paso es necesario establecer un porcentaje o nivel de confianza dentro del cual se aceptaran o rechazaran las hipótesis planteadas.

Lo más común es utilizar valores de 1 %, 5 %, 10 %, posteriormente se determinara la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula  $H_0$ .

#### **2.11.2.5 Determinación de la función pivotal.**

La función pivotal es la fórmula que va a involucrar el análisis de los datos que se obtiene de la muestra.

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Cuando  $n > 30$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (n-1) \text{ GL}$$

Cuando  $n < 30$

Convertir la media de la muestra en valores "z" o "t", dependiendo de la prueba estadística que hayamos elegido, tomar la decisión estadística, es decir comparamos el valor de "z" o "t" calculado en el paso anterior con el respectivo valor de "z" o "t" crítico (valor encontrado en la tabla), según el nivel de significación elegido.

### **2.11.3 Hipótesis nula o hipótesis de trabajo (H<sub>0</sub>).**

La hipótesis nula indica que un parámetro de población (Tal como la media, la desviación estándar, etc) es igual a un valor hipotético.

La hipótesis nula suele ser una afirmación inicial que se basa en análisis previos o en conocimiento especializado.

### **2.11.4 Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>).**

La hipótesis alternativa indica que un parámetro de población es más pequeño, más grande o diferente del valor hipotético de la hipótesis nula.

La hipótesis alternativa es lo que investigador podría pensar que es cierto o espera probar que es cierto.

## **2.12 Marco normativo.**

### **2.12.1 Norma AASHTO T 27.**

El ensayo esta con el nombre de "método para tamizar y determinar la granulometría".

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

### **2.12.2 Norma ASTM 136.**

El ensayo esta con el nombre de "método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos".

El presente método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante cribado. Algunas especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación que incluyen tanto fracciones de agregados gruesos como de agregados finos. Se incluyen las instrucciones para la determinación granulométrica de dichos agregados.

#### **2.12.3 Norma AASHTO T 104.**

El ensayo esta con el nombre de "método de los sulfatos para la determinación de desintegración manual de ensayos de suelos y materiales hormigones ABC".

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

#### **2.12.4 Norma ASTM C 88.**

El ensayo esta con el nombre de "método de los sulfatos para determinar la desintegración".

Esta prueba está diseñada para simular la acción destructiva de la congelación y el deshielo a los que algunos agregados son vulnerables cuando están empapados en agua.

En este caso, los agregados se empapan alternadamente en una solución saturada de sulfato de magnesio y a continuación se secan en el horno para liberar el agua de cristalización. La reinversión causa acción expansiva en los poros de la roca, debido a la hidratación de los cristales desecados y es semejante a la acción destructiva de la formación de hielo durante la congelación. Cinco ciclos de la prueba del sulfato se consideran equivalente a muchos ciclos de congelación y deshielo.

#### **2.12.5 Norma AASHTO T 96.**

El ensayo esta con el nombre de "método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles".



Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.50 mm, mediante la máquina de los Ángeles.

#### **2.12.6 Norma ASTM C 131.**

El ensayo esta con el nombre de método de ensayo para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos por el método de abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

Este método de ensayo ha sido ampliamente empleado como indicador de la calidad relativa de diversas fuentes de áridos, Los resultados no permiten hacer automáticamente comparaciones validas entre fuentes distintas en su origen, composición o estructura se deben asignar los límites de las de las especificaciones basadas en este ensayo con extremo cuidado considerando los tipos de áridos disponibles y su comportamiento histórico en usos específicos.

#### **2.13 Marco referencial.**

El método de la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio ASTM C 88, AASHTO T 104.

Este ensayo se realiza para simular la acción destructiva de la congelación y el deshielo a los que algunos agregados son vulnerables cuando están empapados con la solución de sulfato de magnesio y se secan a horno para liberar el agua de cristalización la inversión causa acción expansiva en los poros de los agregados debido a la hidratación de loa cristales deseados y es semejante a la acción destructiva de la formación de hielo durante la congelación. Los cinco ciclos equivalen a muchos ciclos de congelación y deshielo.

La resistencia a la abrasión de agregado grueso mediante el uso de la máquina de los Ángeles ASTM C 131, AASHTO T 96.

En este ensayo se utiliza la máquina de los Ángeles y consiste en colocar una cantidad de agregados dentro del tambor cilíndrico de acero que junto con cargas abrasivas (esferas) de una masa determinada y se le aplica un número de revoluciones por minuto.

El choque entre el agregado y las bolas da por resultado desgaste del material y los efectos se miden por la deferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado seco expresándolo como porcentaje inicial.

## **2.14 Análisis del aporte teórico.**

### **2.14.1 Ensayo de durabilidad.**

A cargo de Henry Bazán Reyes el 13 de abril del 2013 está basado en la norma ASTM C 88.

Este documento describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones de sulfato de calcio y de magnesio.

Es el porcentaje de pérdida de material durante el ensayo de durabilidad sometido al ataque con sulfatos. Durante la fase de secado las sales precipitan en los vacíos del agregado y en la reinversión las sales se rehidratan y ejercen fuerza de expansión internas que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada.

El ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por acción de los agentes climáticos durante la vida útil del pavimento rígido.

### **2.14.2 Resistencia a lo sulfatos.**

A cargo de Carmen Antonieta Esparza Villalba está basado en la norma ASTM C-88, norma T 104.

Habla de método que sirve para conocer la solidez de los agregados cuando están sujetos a la acción de desgaste en pavimentos u otras aplicaciones, además de información útil para juzgar la solidez de los agregados cuando no hay disponible información en los registros de servicio de los materiales expuestos a condiciones de desgaste reales.

## **CAPITULO III**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

El proyecto de investigación, utiliza los laboratorios de Hormigones de la universidad Juan Misael Saracho y como objeto de estudio las canteras de agregados de la provincia Avilés municipio del Valle de la Concepción, por lo tanto esta investigación contiene el estudio de la solidez de los agregados pétreos extraídos de las canteras de las canteras naturales, este método de ensayos cubre los procedimientos de pruebas para evaluar la solidez de las muestras de agregados por los efectos de sulfatos de magnesio.

La prueba de solidez mediante sulfatos de magnesio es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de la roca bajo condiciones de intemperie.

Los resultados de este método de prueba no se van a utilizar como la única base para la determinación de la durabilidad de rocas sino que siempre se debe utilizar en combinación con los resultados de otras pruebas.

#### **3.1 Unidades de estudio y decisión muestral de la investigación.**

##### **3.1.1 Unidad de estudio o muestreo.**

La cantera de los agregados es provincia Avilés en el municipio del Valle de la Concepción.

Se extraerá información directa de los siguientes elementos:

Ensayo de laboratorio para agregados.

##### **3.1.2 Población.**

Es todos los ensayos de los agregados.

Ensayo de caracterización de los agregados (granulometría).

##### **3.1.3 Muestra.**

Es los ensayos de solidez con sulfato de magnesio para la determinación de desintegración.

Los ensayos de solidez con sulfato de magnesio.

### 3.1.3.1 Selección de nivel de confianza.

La selección de confianza será del 95 %.

Tabla 6: Confianza

Nivel de confianza (%)	Valor del nivel de confianza (Z)
50	0.57
75	1.15
80	1.28
85	1.44
90	1.64
95	1.96
96	2.05
97	2.17
98	2.33
99	2.58

Fuente: Texto del Ing. Luis Alberto Yurquina

### 3.1.3.2 Tamaño y muestra.

Tabla 7: Objeto de investigación

Pregunta de investigación	Objeto de investigación	Unidades de muestreo
¿De que manera, una identificación de canteras de agregados, ayudaría a valorar de manera preliminar la solidez de los agregados antes de ser usados en pavimentos?	Solidez de los agregados	Se extraera información directa de los siguientes elementos: * Ensayo de granulometría * Metodo de los sulfatos para determinar la desintegración

Fuente: Elaboración propia

Calculo de muestra estratificada trabajando con proporciones.

Dónde:

P = Probabilidad de que ocurra el suceso (95 % = 0.95).

q = Probabilidad de que no ocurra el suceso (5 % = 0.05).

E = Error de tolerancia (5 % = 0.05).

Z = Distribución normal (1.96).

N = La población (70).

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i p q}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i p q}{N}}$$

$$n = \frac{70 * 0.95 * 0.05}{70 * \left(\frac{0.05}{1.96}\right)^2 + \frac{70 * 0.95 * 0.05}{70}}$$

n = 36 muestra.

Aproximadamente se realizaran 36 ensayos de solidez con sulfato de magnesio durante la investigación.

### 3.1.4 Muestreo.

Tabla 8: Ensayos a realizar

Ensayos
Granulometria
Solidez de los agregados con 500g de sulfato de magnesio
Solidez de los agregados con 700g de sulfato de magnesio
Solidez de los agregados con 1,400g de sulfato de magnesio
Durabilidad de los agregados con el desgaste

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Caracterización por sondeo en las canteras

Caracterización por cantera	Granulometria	Del agregado grueso n = 5 Del agregado fino n = 5	30 ensayos	30	
	Solidez con 500 g de sulfato de magnesio	Del agregado grueso y fino n = 3*4	12 ensayos	36	
	Solidez con 700 g de sulfato de magnesio	Del agregado grueso y fino n = 3*4	12 ensayos		
	Solidez con 1,400 g de sulfato de magnesio	Del agregado grueso y fino n = 3*4	12 ensayos		
	Durabilidad	Desgaste de los angeles n = 3*3	9 ensayos	9	
					75 ensayos en total

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Enfoque del trabajo.

De acuerdo a los objetivos de la investigación se busca determinar la posible potencialidad reactiva de los agregados de canteras naturales de la región que generalmente podría ser usados para la construcción de pavimento rígido lo cual para ello se desarrollan los siguientes métodos:

- Método de los sulfatos para determinar la desintegración la norma ASTM C 88 y AASHTO T 104.
- Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles la norma ASTM C 131 y AASHTO T 96.

Los cuales se desarrollaron en el laboratorio de Hormigón de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija.

Los agregados naturales que se emplearon para la investigación son todos de la provincia Avilés de las siguientes regiones:

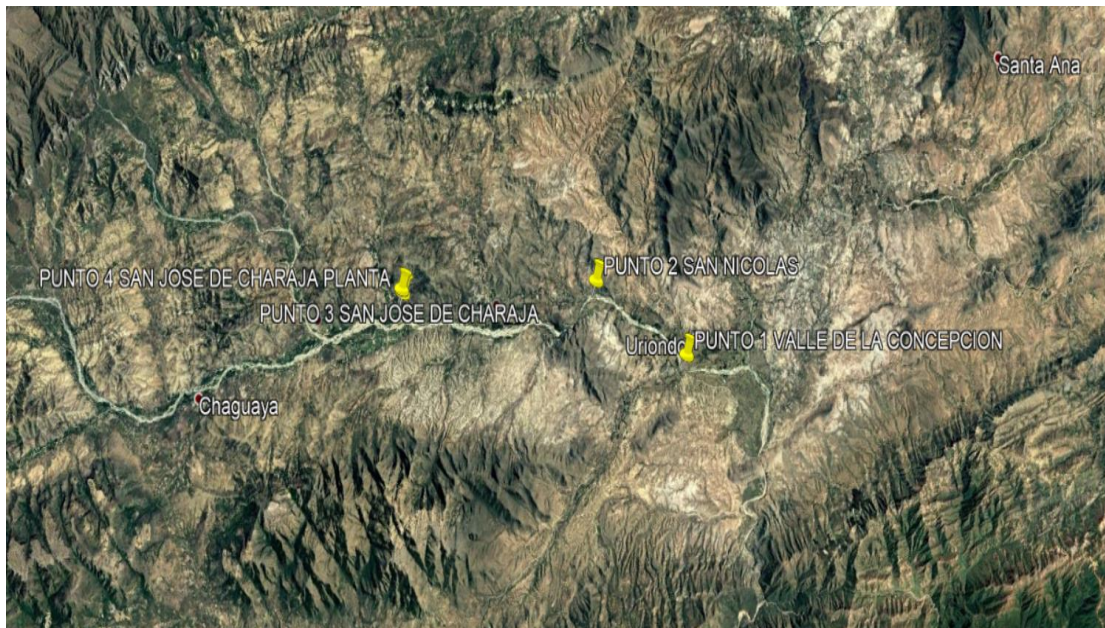
- Río Camacho zona Valle de la Concepción.
- Río Camacho zona de San Nicolás.
- Quebrada de San José de Charaja.

Con los cuales se obtendrá:

- Caracterización de cada banco de agregado.
- Ensayo de solidez por medio de sulfatos.
- Ensayos de durabilidad por medio de desgaste de los Ángeles.

Tomando en cuenta todas las características de los agregados para realizar una comparación entre la resistencia adquiridas mediante los ensayos mencionados anteriormente.

Figura 3: Puntos de las canteras naturales



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Criterios de muestreo.

#### 3.3.1 Muestreo de agregados para construcción de carreteras.

El propósito de la toma de muestras de agregados gruesos y agregados finos son los siguientes propósitos:

- Investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales.

- Inspección de los materiales en la fuente.
- Aceptación o rechazo de los materiales.

Los ensayos los cuales se van a realizar son de aceptación y de control con el tipo de construcción en el cual se va a emplear el material. La investigación preliminar y la toma de muestras de posibles yacimientos o fuentes y tipos de agregados, son factores de gran importancia para determinar la disponibilidad y las cualidades de los materiales, en relación con la futura construcción en las cuales se decida utilizar los agregados.

#### **3.3.1.1 Importancia y uso de la toma de muestras.**

La toma de muestras es tan importante como los mismos ensayos lo cual el encargado de hacerlas debe tomar todas las precauciones necesarias para poder obtener muestras que indiquen la verdadera naturaleza y características reales de los materiales los cuales serán representados por ellos.

En la investigación preliminar y el muestreo de las fuentes y los tipos potenciales de agregados estos ocupan un lugar muy importante en la determinación de la disponibilidad y conveniencia de los principales componentes de una construcción vial o de una construcción civil.

La investigación en curso está más involucrada para la afectación desde el punto de vista económico y determina el control que requieren los materiales para asegurar la durabilidad de las obras.

#### **3.3.2 Explotación de fuentes de agregados pétreos.**

La explotación de fuentes potenciales de agregados pétreos debe ser dirigida por una persona responsable, con la experiencia requerida por este tipo de trabajo, debido a la diversidad de condiciones bajo las cuales se debe hacer el muestreo es imposible describir procedimientos detallados aplicables a todos los casos.

##### **3.3.2.1 Muestreo en canteras y vetas.**

Ante todo se debe inspeccionar el frente de la cantera o veta para determinar su estratificación se deberá anotar todos los cambios de color y estructura que se observen.



### **3.3.2.2 Muestreo y tamaño de las muestras.**

En cada punto en el cual se decidió tomar la muestra se toma de cada estrato una muestra representativa no menos de 25 kg. Por lo cual la muestra no deberá ser alterada y esta no debe contener material contaminado, el cual no resulte adecuado para el uso o los fines que serán utilizados.

Se deben tomar muestras de cada extracto que resulte distinguible. Si el depósito se ha venido trabajando mediante un frente abierto o un pozo, la muestra se deberá tomar haciendo un pozo de exploración de aproximadamente 0.80m x 0.80m, y descartando una altura de 0.40 m.

### **3.3.2.3 Muestreo en zonas de préstamo lateral o en depósitos aluviales.**

Se inicia con una inspección en las fuentes conocidas de material aluvial, sus características y posibilidades se puede establecer a partir de pozos hechos con anterioridad, en los cuales se puedan apreciar los posibles frentes de explotación.

La fotointerpretación, la explotación geológica y otros tipos de investigación de campo también permiten identificar la existencia de posibles depósitos de agregados pétreos.

### **3.3.2.4 Muestreo y muestras.**

Se debe tomar una muestra significativa de cada banco de material, si en depósito se ha venido trabajando mediante un frente abierto o un pozo, las muestras se deberán tomar haciendo un pozo de exploración de aproximadamente 0.80m x 0.80m, y descartando una altura de 0.40m, este material descartado podría tener presencia de impurezas y a la vez ser un material sometido a la intemperie por lo cual no es un material apto para los propósitos de investigación, a partir del material descartado se toma la muestra para el ensayo a realizar, En la muestra no deberá quedar incluido el material de descapote.

Conviene hacer sondeos en distintos sitios del depósito con el fin de establecer su calidad y extensión, más allá de los que permite apreciar el frente de exploración.

El número y la profundidad de las perforaciones dependerán de la cantidad de material requerido de la naturaleza del depósito, de las características de los materiales son muy variables, se deberán tomar muestras seleccionadas de cada extracto identificable.

Cada muestra se deberá mezclar completamente y cuartear si es necesario para obtener al menos una cantidad de material de 12 kg si la fuente es de material arenoso y 35 kg si el depósito contiene una cantidad apreciable de agregado grueso.

### **3.3.2.5 Registro.**

Además de la información general que suele acompañar a todas las muestras, se requiere adjuntar los siguientes datos a las muestras provenientes de fuentes aluviales:

- Ubicación de la fuente.
- Detalle sobre la ubicación y representación de cada muestra. Para este propósito es recomendable adjuntar fotografías, esquemas y planos que muestren la ubicación de los puntos trabajados.
- Distancia de acarreo hasta el sitio de la obra y condiciones de camino.

## **3.4 Muestreo de los materiales para la investigación.**

### **3.4.1 Agregados.**

Los agregados empleados para la investigación se seleccionaron tomando en cuenta los más usuales para la construcción y tratando de abarcar diferentes cuentas de la provincia Avilés del municipio del Valle de la Concepción, las cuales son usadas en la zona de estudio.

### **3.4.2 Criterios para el muestreo de los agregados.**

Los agregados fueron extraídos de acuerdo al método para extraer materiales y preparar la muestra la cual es la norma ASTM y la norma AASTHO, el cual establece los procedimientos que se deben seguir para preparar muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para los fines de ensayos.

Las muestras extraídas son de yacimientos con frente descubiertos de áridos en sitio de depósitos naturales los cuales no son sometidos a ningún tratamiento.

Y una toma de muestra fue de la planta de pavimento que se encuentra en la localidad de San José de Charaja la cual que se consiguió con los permisos adecuados para obtener una muestra representativa de sus materiales para realizar sus estudios.

### 3.4.3 Codificación de los sondeos y toma de las muestras.

Se realizaron sondeos a cielo abierto en las canteras naturales ya mencionadas cada sondeo está referenciado mediante coordenadas geográficas se describe el perfil de cada cantera. Simultáneamente se obtuvo muestras a diferentes distancias dependiendo de los estratos encontrados la cual se va estudiar.

La identificación de las muestras se lo realizó con los siguientes codificación se tomara de cada lugar de donde obtenga muestras para la investigación que se realiza en los laboratorios de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el laboratorio de Hormigones y Asfaltos.

### 3.4.4 Ubicación y descripción del lugar.

#### 3.4.4.1 Rio Camacho localidad Valle de la Concepción.

Figura 4: Ubicación del Valle de Concepción



Fuente: Elaboración propia

Punto 1 = Valle de la Concepción.

Coordenadas geográficas:

Latitud = 21°42'27.51''S.

Longitud = 64°39'0.13''O.

Coordenadas UTM:

Norte = 603932.76.

Este = 2322472.69.

Zona = 41.

#### **3.4.4.2 Zona del Valle de la Concepción.**

La cantera del río Camacho zona del Valle de la Concepción, se encuentra ubicada en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, mas propiamente en el municipio de Uriondo, la extracción de los agregados del río Camacho se efectuó aproximadamente a 27 km de la ciudad de Tarija, a este río contribuyen ríos de Chaguaya, Juntas, San Nicolás, Barrancas, Rujero, y la quebrada de San José de Charaja.

Los áridos de esta zona de estudio perteneciente al río Camacho son de canto rodado, material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica, son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica es decir que tiene una edad formada hace muchos años atrás, y son rocas de cuarcita y lutitas.

La identificación de las muestras se lo realizo con los siguientes codificación se tomara por ejemplo río Camacho en la zona del Valle de la Concepción:

VC: S1: M1

Dónde:

VC = Es el nombre específico del lugar de estudio Valle de Concepción.

S = Es el nombre genérico de sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo en este caso es el uno.

M = Es el nombre genérico de muestra que va acompañado del numeral 1 es decir de cada sondeo se toma una sola muestra.

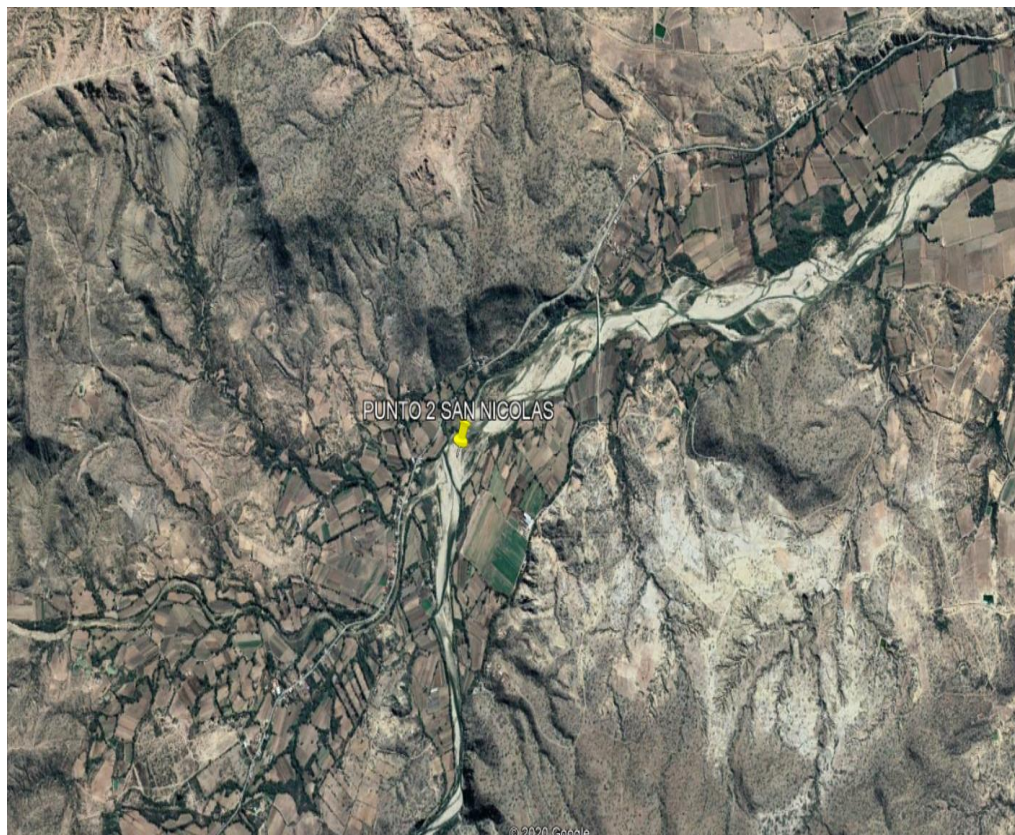
Figura 5: Áridos del rio Camacho localidad Valle de la Concepción



Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.4.3 Rio Camacho zona de San Nicolás.

Figura 6: Ubicación de San Nicolás



Fuente: Elaboración propia

Punto 2 = San Nicolás.

Coordenadas geográficas:

Latitud =  $21^{\circ}42'54.50''$ S.

Longitud =  $64^{\circ}42'3.68''$ O.

Coordenadas UTM:

Norte = 7597736.10.

Este = 324051.70.

Zona = 20.

#### **3.4.4.4 Zona San Nicolás.**

La cantera del río Camacho zona de San Nicolás, se encuentra ubicada en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, mas propiamente en el municipio de Uriondo, la extracción de los agregados del río Camacho se efectuó aproximadamente a 32 km de la ciudad de Tarija, a este río contribuyen ríos de Chaguaya, Juntas, San Nicolás, y la quebrada de San Jose de Charaja.

Los áridos de esta zona de estudio perteneciente al río Camacho son de canto rodado, material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica, son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica es decir que tiene una edad formada hace muchos años atrás, y son rocas de cuarcita y lutitas.

La identificación de las muestras se lo realizo con la siguiente codificación:

SN: S1: M1

Dónde:

SN = Es el nombre específico del lugar de estudio San Nicolás.

S = Es el nombre genérico de sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo en este caso es el uno.

M = Es el nombre genérico de muestra que va acompañado del numeral 1 es decir de cada sondeo se toma una sola muestra.

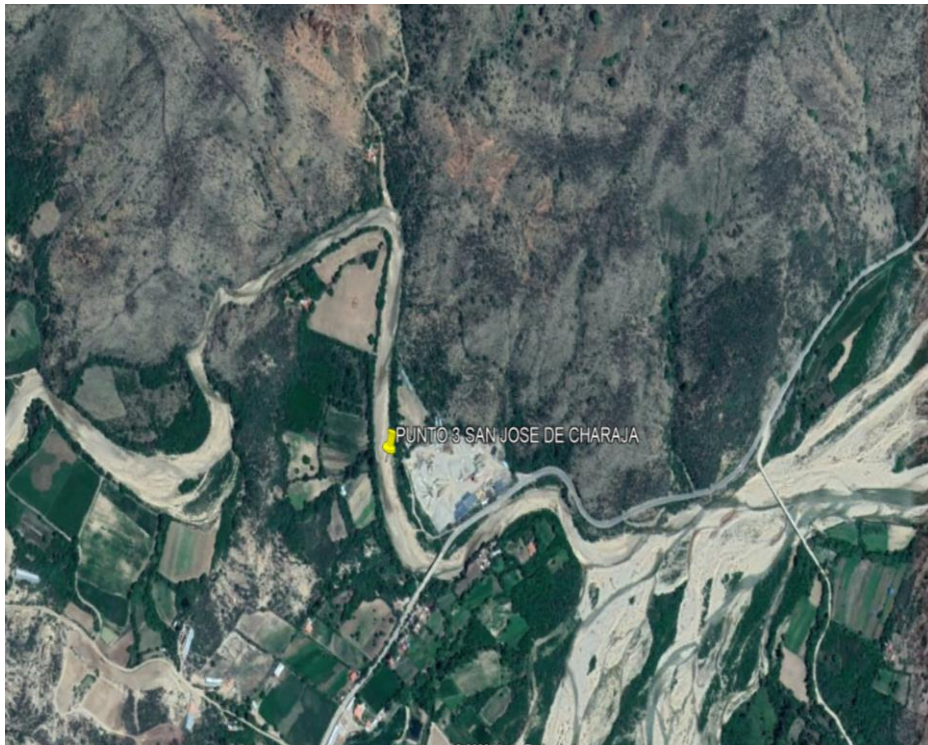
Figura 7: Áridos del rio Camacho localidad San Nicolás



Fuente Elaboración propia

#### 3.4.4.5 Quebrada de San José de Charaja.

Figura 8: Ubicación de San José



Fuente: Elaboración propia

Punto 3 = San José de Charaja.

Coordenadas geográficas:

Latitud =  $21^{\circ}42'54.50''$ S.

Longitud =  $64^{\circ}42'3.68''$ O.

Coordenadas UTM:

Norte = 7597736.10.

Este = 324051.70.

Zona = 20.

#### **3.4.4.6 Zona San José de Charaja.**

La cantera de la quebrada de San José de Charaja, se encuentra ubicada en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, mas propiamente en el municipio de Uriondo, la extracción de los agregados del rio Camacho se efectuó aproximadamente a 48 km de la ciudad de Tarija, a este afluente aporta la quebrada de San José de Charaja.

Los áridos de esta zona de estudio perteneciente a la quebrada de San José de Charaja son de canto rodado, material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica, son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica es decir que tiene una edad formada hace muchos años atrás, y son rocas de cuarcita y lutitas.

La identificación de las muestras se lo realizo con la siguiente codificación:

SJ: S1: M1

Dónde:

SJ = Es el nombre específico del lugar de estudio San José.

S = Es el nombre genérico de sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo en este caso es el uno.

M = Es el nombre genérico de muestra que va acompañado del numeral 1 es decir de cada sondeo se toma una sola muestra.



Figura 9: Áridos de la quebrada de San José



Fuente Elaboración propia

### **3.5 Fichas técnicas del sulfato de magnesio.**

El sulfato empleado para la investigación es el sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) al 95.50%, el cual cuenta con las siguientes características.

#### **3.5.1 Identificación del producto.**

Tipo = Sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

Presentación = Bolsas de 1kg.

Peso molecular = 246.37 g/mol.

#### **3.5.2 Descripción.**

Sal inglesa polvo granular cristalino blanco o casi blanco o cristales brillantes incoloros fácilmente solubles en agua muy soluble en agua a ebullición, con formula  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

#### **3.5.3 Especificaciones del producto y propiedades químicas.**

Pureza = 99 %.

$\text{MgSO}_4$  = 49 %.

$\text{MgO}$  = 16.40%.

$\text{Mg}^{+2}$  = 9.80%.

pH en solución al 1% = 6 – 7.

### **3.5.4 Propiedades físicas.**

Formula química =  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Sinónimo = Sal inglesa.

Estructura = Cristales eflorescente blancos.

Olor = Inodoro.

Punto de inflamación = No es inflamable.

Solubilidad = 1,40 g/l de agua a 25 °C a 30 °C.

Densidad = 1.30 g/mol.

Peso molecular = 246.37 g/mol.

### **3.5.5 Estabilidad y reactividad.**

- **Reactividad.**

No se conoce ninguna reacción peligrosa en condiciones normales de almacenamiento y uso.

- **Estabilidad química.**

El producto es estable a temperatura ambiente en condiciones normales de almacenamiento y uso.

- **Posibilidad de reacciones peligrosas.**

El riesgo de explosión con aluminio en condiciones extremas y anómalas el aluminio en polvo a altas temperaturas podría reaccionar con el sulfato de magnesio riesgo de explotación.

- **Condiciones que deben evitarse.**

Se debe evitar el calentamiento del sulfato de magnesio por el riesgo de la explotación.

- **Estabilidad química.**

Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

- **Productos peligrosos de descomposición.**

Cuando se calienta hasta temperatura de descomposición de 1,100 °C el sulfato de magnesio produce óxido de magnesio.

- **Incompatibilidad.**

Con aluminio o magnesio a elevadas temperaturas puede formar mezclas explosivas con aluminio.

- **Polimerización peligrosa.**

La polimerización peligrosa no ocurrirá.

### **3.6 Caracterización de los agregados.**

#### **3.6.1 Ensayos.**

Los ensayos fueron realizados en los ambientes del laboratorio de Hormigón de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho y de acuerdo a los manuales técnicos de los ensayos de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) y apoyados en norma AASTHO.

#### **3.6.2 Método para determinar la granulometría (ASTM C 136 AASHTO T 27).**

Este método de ensayo establece el procedimiento para tamizar y delimitar la granulometría (distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido).

#### **3.6.3 Método para el cuarteo de muestras (ASTM C 702 AASHTO T 248).**

Este método de ensayo establece el procedimiento de diferentes tipos y tamaños de áridos que quiere la muestra para que sea representativa para cualquier tipo de ensayo.

#### **3.6.4 Método de solidez con sulfatos (ASTM C 88 AASHTO T 104).**

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante solución de sulfato de magnesio.

Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

#### **3.6.5 Método para determinar el desgaste (ASTM C 131 AASHTO T 96).**

Este método de ensayo establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm mediante la máquina de los Ángeles.

### 3.7 Resultados.

#### 3.7.1 Granulometría de las canteras de estudio.

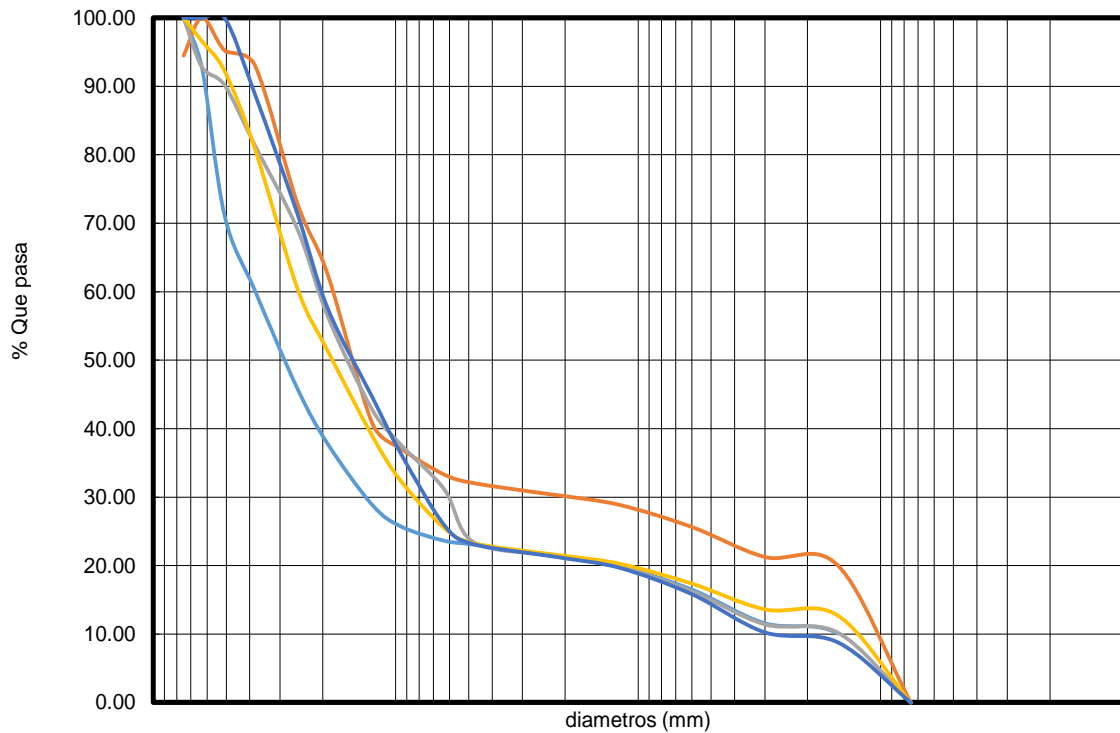
##### 3.7.1.1 Granulometría de la zona del Valle de la Concepción.

Tabla 10: Granulometrías de la zona del Valle de la Concepción

	3"	2 1/2"	2	1 1/2"	1	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	Nº4	N 8	N 10	N 16	N 30	N 50	N 100	N 200
VC:S1:M1	100.00	92.71	71.13	60.18	45.80	37.74	28.87	25.70	23.62	23.08	21.49	21.14	19.84	16.49	11.57	10.08	9.82
VC:S2:M1	94.49	100.00	95.25	93.08	72.84	62.46	40.81	37.06	33.28	32.06	30.46	30.13	28.82	25.63	21.25	20.02	19.85
VC:S3:M1	100.00	92.83	90.16	81.40	69.09	56.36	42.79	37.63	31.12	23.47	21.59	21.20	19.78	16.25	11.41	10.20	10.02
VC:S4:M1	100.00	96.59	92.24	80.90	60.41	51.32	38.96	32.31	25.47	23.28	21.72	21.40	20.23	17.36	13.60	12.69	12.58
VC:S5:M1	100.00	100.00	100.00	88.88	71.31	57.52	44.63	36.29	25.89	23.15	21.45	21.06	19.63	15.82	10.24	8.78	8.55

Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Curva granulométrica de la zona del Valle de la Concepción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Resumen granulométrico del Valle de la Concepción

Designación	%
Grava >4,75mm	74.99
Arena gruesa: 4,75-1,18mm	3.35
Arena media: 1,18-0,30 mm	8.05
Arena fina: 0,30-0,075 mm	1.45
Pasa N°200	12.16
Total	100.00
Pasante N°4-Retenido N°200	25.01

Fuente: Elaboración propia

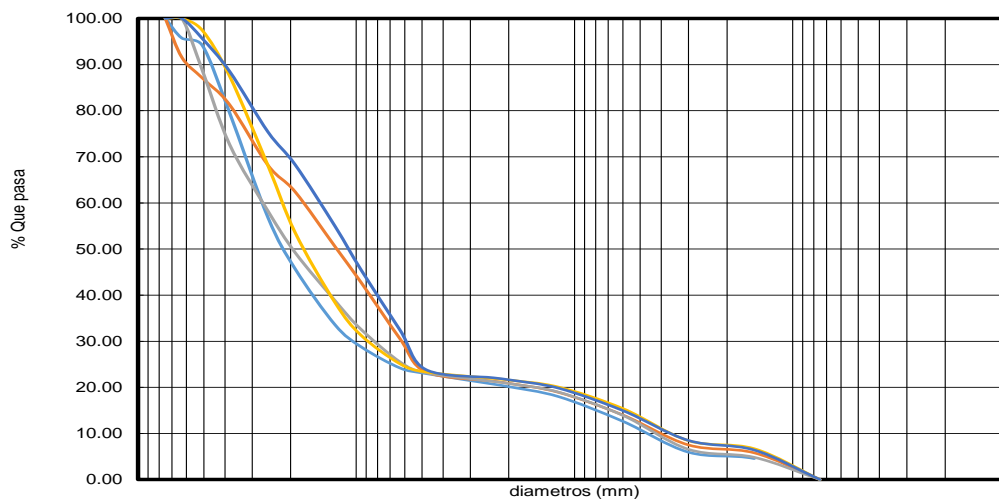
### 3.7.1.2 Granulometría de la zona de San Nicolás.

Tabla 12: Granulometrías de la zona de San Nicolás

	3"	2 1/2"	2	1 1/2"	1	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N 8	N 10	N 16	N 30	N 50	N 100	N 200
SN:S1:M1	100.00	95.75	94.18	79.59	56.84	45.67	33.53	28.78	24.19	22.99	20.70	20.14	17.97	12.63	5.93	4.54	4.27
SN:S2:M1	100.00	91.56	87.10	81.32	68.19	62.40	50.49	42.73	30.51	23.36	21.35	20.88	18.90	14.00	7.50	5.79	5.60
SN:S3:M1	100.00	100.00	88.80	72.70	58.25	49.21	38.77	32.55	25.50	23.16	21.29	20.83	18.95	13.92	6.55	4.82	4.43
SN:S4:M1	100.00	100.00	97.44	87.55	68.10	53.53	38.35	31.27	25.09	23.33	21.93	21.58	20.05	15.40	8.43	6.69	6.30
SN:S5:M1	100.00	100.00	95.66	88.56	75.40	68.27	54.90	45.45	32.40	23.86	22.08	21.64	19.81	14.96	8.48	6.40	5.81

Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Curva granulométrica de la zona de San Nicolás



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Resumen granulométrico de la zona de San Nicolás

Designación	%
Grava >4,75mm	76.66
Arena gruesa: 4,75-1,18mm	4.20
Arena media: 1,18-0,30 mm	11.76
Arena fina: 0,30-0,075 mm	2.10
Pasa N°200	5.28
Total	100.00
Pasante N°4-Retenido N°200	23.34

Fuente: Elaboración propia

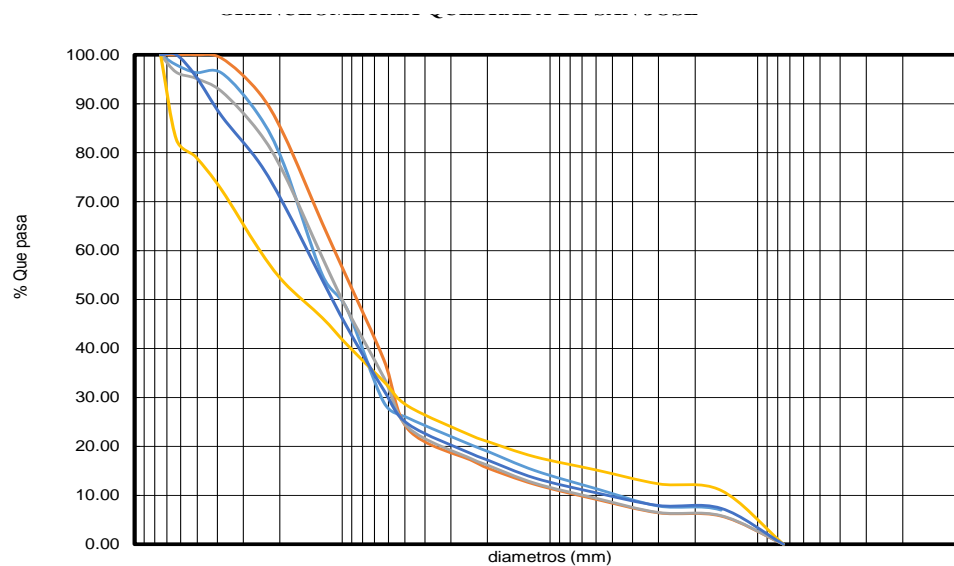
### 3.7.1.3 Granulometría de la quebrada de San José de Charaja.

Tabla 14: Granulometrías de la quebrada de San José de Charaja

	3"	2 1/2"	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4"	N°4	N 8	N 10	N 16	N 30	N 50	N 100	N 200
SJ:S1:M1	100.00	97.95	96.38	96.28	87.81	77.46	55.08	48.09	28.94	25.77	20.19	19.00	15.05	11.37	7.81	6.98	0.00
SJ:S2:M1	100.00	100.00	100.00	99.30	92.47	83.55	65.64	54.44	37.62	23.40	17.04	15.58	12.22	9.19	6.42	5.76	0.00
SJ:S3:M1	100.00	96.43	95.21	92.50	84.40	75.65	58.65	48.01	34.01	23.79	17.37	16.17	12.47	9.41	6.50	5.86	0.00
SJ:S4:M1	100.00	82.71	79.15	72.38	60.49	53.46	46.29	40.80	33.22	28.17	22.11	21.01	17.87	15.19	12.35	11.01	0.00
SJ:S5:M1	100.00	100.00	95.64	87.48	78.25	69.28	54.04	44.41	31.43	24.51	18.41	17.22	13.52	10.53	7.93	7.35	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Curva granulométrica de la quebrada de San José de Charaja



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Resumen granulométrico de la quebrada de San José de Charaja

Designación	%
Grava >4,75mm	74.87
Arena gruesa: 4,75-1,18mm	10.90
Arena media: 1,18-0,30 mm	6.02
Arena fina: 0,30-0,075 mm	0.98
Pasa N°200	7.22
Total	100.00
Pasante N°4-Retenido N°200	25.13

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2 Solidez de los agregados de las canteras.

Para determinar la desintegración de los áridos gruesos y finos mediante soluciones de sulfato de magnesio se deben de encontrar previamente lavados y graduados adecuadamente como lo exigen las especificaciones, la densidad de la solución debe estar entre un rango de 1.29 y 1.31 a  $20 \pm 3$  °C.

Las muestras se deben de saturar entre un periodo  $17 \pm 1$  horas posteriormente se debe retirar la solución de la muestra con mucho cuidado evitando la pérdida de material para proceder el secado en el horno hasta que se seca a una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C se debe de repetir cinco veces el ciclo de inmersión y secado para finalizar se debe lavar el material con agua hasta retirar por completo la solución del sulfato de magnesio.

$$P_N(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot ppr$$

Dónde:

$P_n$  = Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fricción de muestra (%).

$m_i$  = Masa inicial de la fracción (g).

$m_f$  = Masa final de la fracción (g).

$ppr$  = Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico.

Se presenta un resumen de las pérdidas de material correspondiente a cada cantera y sondeo.

Figura 13: Ensayo con sulfato de magnesio



Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2.1 Resultado de la desintegración en la zona del Valle de la Concepción.

Tabla 16: Solidez con 500g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
VC:S1:M1	0.73	0.46	18 % MAX
VC:S2:M1	0.54	0.39	18 % MAX
VC:S3:M1	0.58	0.45	18 % MAX
VC:S4:M1	0.67	0.51	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Solidez con 700g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
VC:S1:M1	1.02	0.56	18 % MAX
VC:S2:M1	0.96	0.52	18 % MAX
VC:S3:M1	1.01	0.59	18 % MAX
VC:S4:M1	0.97	0.61	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia



Tabla 18: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio del Valle de la Concepción

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
VC:S1:M1	1.44	1.29	18 % MAX
VC:S2:M1	2.27	1.26	18 % MAX
VC:S3:M1	1.77	1.26	18 % MAX
VC:S4:M1	1.91	1.24	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2.2 Resultado de la desintegración en la zona de San Nicolás.

Tabla 19: Solidez con 500g de sulfato de magnesio de San Nicolás

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SN:S1:M1	0.13	0.92	18 % MAX
SN:S2:M1	0.91	0.61	18 % MAX
SN:S3:M1	0.53	0.62	18 % MAX
SN:S4:M1	0.49	0.55	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Solidez con 700g de sulfato de magnesio de San Nicolás

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SN:S1:M1	1.11	1.10	18 % MAX
SN:S2:M1	1.07	1.08	18 % MAX
SN:S3:M1	1.05	1.31	18 % MAX
SN:S4:M1	1.14	1.39	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio de San Nicolás

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SN:S1:M1	2.47	2.47	18 % MAX
SN:S2:M1	2.25	2.46	18 % MAX
SN:S3:M1	2.03	2.45	18 % MAX
SN:S4:M1	2.27	2.53	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2.3 Resultado de la desintegración en la quebrada de San José de Charaja.

Tabla 22: Solidez con 500g de sulfato de magnesio de San José

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SJ:S1:M1	0.62	2.75	18 % MAX
SJ:S2:M1	1.03	1.94	18 % MAX
SJ:S3:M1	0.61	2.10	18 % MAX
SJ:S4:M1	0.8	2.05	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Solidez con 700g de sulfato de magnesio de San José

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SJ:S1:M1	1.23	3.34	18 % MAX
SJ:S2:M1	1.16	4.08	18 % MAX
SJ:S3:M1	1.12	3.74	18 % MAX
SJ:S4:M1	1.06	3.59	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Solidez con 1400g de sulfato de magnesio de San José

Numero de ensayos	Agregado		Especificación ASTM
	Grueso	Fino	
SJ:S1:M1	3.18	5.49	18 % MAX
SJ:S2:M1	2.76	5.45	18 % MAX
SJ:S3:M1	2.82	4.82	18 % MAX
SJ:S4:M1	2.71	4.60	18 % MAX

Fuente: Elaboración propia

La grava y la arena cumplen con la especificación de desintegración del material actividad que consistió en someter a cinco ciclos de inmersión en sulfato de magnesio y su posterior secado se lo volvió a zarandear por su respectivo tamiz de esta forma el material pasante es la pérdida o desgaste del agregado, el material que acepta las especificaciones es aquel que no sobreesa no sobrepasar el 18% del total de pérdidas.

### 3.7.3 Desgaste de los Ángeles de las canteras.

El desgaste se realiza previamente lavando el material con el apoyo del ensayo de granulometría con el fin de identificar cual se asemeja más en el tipo de método según la norma para pavimento rígido.

Conociendo el método que corresponde a nuestro material se podrá determinar el número de ciclos de la máquina de los Ángeles y el número de esferas a usar para realizar el desgaste al material.

Figura 14: Máquina del desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Método de desgaste en función a la granulometría

Partículas		A	B	C	D
Pasa	Retenido	Tamaño de las fracciones (gr)			
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8				5000 ± 10
Peso total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Numero de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Manuales de ensayos de suelos y materiales hormigones administradora Boliviana de carreteras

Para el cálculo del desgaste de áridos como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra.

$$P(\%) = \frac{(mi - mf)}{mi} \cdot 100$$

Dónde:

P = Pérdida de masa de la muestra (%).

mi = Masa inicial de la muestra (g).

mf = Masa final de la muestra (g).

### 3.7.3.1 Resultado del desgaste de la zona del Valle de la Concepción.

Tabla 26: Resumen desgaste del Valle de Concepción del suelo natural

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
VC:S1:M1	26.40	40 % MAX
VC:S2:M1	25.52	40 % MAX
VC:S3:M1	25.96	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Resumen desgastes de las muestras con 500 g de sulfato del Valle de Concepción

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
VC:S1:M1	27.89	40 % MAX
VC:S2:M1	28.04	40 % MAX
VC:S3:M1	27.36	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato del Valle de Concepción

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
VC:S1:M1	30.63	40 % MAX
VC:S2:M1	31.17	40 % MAX
VC:S3:M1	31.55	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato del Valle de Concepción

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
VC:S1:M1	34.37	40 % MAX
VC:S2:M1	34.92	40 % MAX
VC:S3:M1	34.51	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3.2 Resultado del desgaste de la zona de San Nicolás.

Tabla 30: Resumen desgaste de San Nicolás de suelo natural

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SN:S1:M1	25.94	40 % MAX
SN:S2:M1	26.29	40 % MAX
SN:S3:M1	25.55	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Resumen desgaste de las muestras con 500 g de sulfato en San Nicolás

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SN:S1:M1	28.25	40 % MAX
SN:S2:M1	28.72	40 % MAX
SN:S3:M1	28.97	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato en San Nicolás

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SN:S1:M1	31.81	40 % MAX
SN:S2:M1	31.09	40 % MAX
SN:S3:M1	30.91	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato en San Nicolás

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SN:S1:M1	35.86	40 % MAX
SN:S2:M1	34.97	40 % MAX
SN:S3:M1	35.30	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3.3 Resultado del desgaste de la quebrada de San José de Charaja.

Tabla 34: Resumen desgaste de San José del suelo natural

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SJ:S1:M1	27.88	40 % MAX
SJ:S2:M1	28.10	40 % MAX
SJ:S3:M1	27.97	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Resumen desgaste de las muestras con 500 g de sulfato en San José

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SJ:S1:M1	30.31	40 % MAX
SJ:S2:M1	30.17	40 % MAX
SJ:S3:M1	31.06	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Resumen desgaste de las muestras con 700 g de sulfato en San José

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SJ:S1:M1	34.09	40 % MAX
SJ:S2:M1	33.23	40 % MAX
SJ:S3:M1	33.06	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Resumen desgaste de las muestras con 1400 g de sulfato en San José

Numero de ensayos	Desgaste %	Especificación ASTM
SJ:S1:M1	38.76	40 % MAX
SJ:S2:M1	37.87	40 % MAX
SJ:S3:M1	37.64	40 % MAX

Fuente: Elaboración propia

La grava cumple con la especificación de desgaste del material actividad que consistió en introducir a la máquina de los Ángeles el material se lo zarandeo por los tamiz 12 de esta forma, el material de desgaste es aquel que no debe pasar el 40% del total de material.

### **3.8 Guía de ensayo de la solidez de los agregados frente a la acción de sulfatos.**

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados por la acción de soluciones saturadas del sulfato de magnesio seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables, la fuerza de expansión interna deriva de la rehidratación de la sal después de reinversión simula la expansión del agua por congelamiento.



Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear en las condiciones climatológicas de la obra.

### 3.8.1 Equipos y materiales.

#### 3.8.1.1 Tamices.

Se Utilizan tamices con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, para tamizar muestras de acuerdo a una granulometría ya determinada.

Tabla 38: Tamaño nominales de aberturas

mm	ASTM (plg)
75.00	3
63.00	2 1/2
50.00	2
37.50	1 1/2
25.00	1
19.00	3/4
12.50	1/2
9.50	3/8
6.30	1/4
4.75	N° 4
2.36	N° 8
2.00	N° 10
1.18	N° 16
0.60	N° 30
0.30	N° 50
0.15	N° 100
0.07	N° 200

Fuente: Manuales de ensayos de suelos y materiales hormigones administradora Boliviana de carreteras

Figura 15: Tamices



Figura 16: Agregados retenido en tamiz



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.2 Balanzas.

Las balanzas deben tener una capacidad suficiente y sensibilidad de 0.10 g, para pesar el agregado fino y para agregado grueso.

Figura 17: Peso del tamiz



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.3 Horno.

Un horno con circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Figura 18: Horno



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.4 Termómetro.

Un termómetro con el intervalo de temperatura recomendado para la solución durante la realización del ensayo, con una precisión de  $0.10^{\circ}\text{C}$ .

Figura 19: Termómetro



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.5 Recipientes para muestras.

Bandejas o recipientes para sumergir la muestras de los agregados en la solución de acuerdo con el procedimiento descrito en este método.

Los recipientes deben de tener el tamaño adecuado a la porción a ensayar de tal manera que la solución quede 1.50 cm por encima del agregado.

Se considera recipientes adecuados para utilizar los platos y fuentes que no tengan ningún tipo de abertura para que no se produzca pérdida de partículas de agregados.

Figura 20: Fuente para el agregado



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.6 Solución necesaria.

Disuelva aproximadamente 500 g, 700 g y 1,400 g de sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) por litro de agua a una temperatura mayor a 25 °C y menor a 30 °C resuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso, Se enfría y mantener la solución a  $20 \pm 5$  °C.

La solución se prepara y se deja reposar durante 48 horas antes de su uso, se resuelve la solución y determina la gravedad específica de la misma.

Figura 21: Preparación de la solución



Fuente: Elaboración propia

La solución debe tener una densidad (g/ml) no menor de 1.29 y no mayor 1.31 a  $20 \pm 5$  °C con la siguiente formula.

$$\text{Densidad} = \frac{C}{D} = \frac{\text{Peso de la solución (g)}}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

Dónde:

A = Peso del matraz seco.

B = Peso del matraz más la solución.

C = B-A = peso de la solución.

D = Volumen de la muestra.

#### **3.8.1.6.1 Densidad para solución con 500 g de sulfato.**

Dónde:

A = 589.30 g.

B = 2157.50 g.

D = 1,200 ml.

$$\text{Densidad} = \frac{2157.50 - 589.30}{1200} = 1.30 \text{ g/ml}$$

#### **3.8.1.6.2 Densidad para solución con 700 g de sulfato.**

Dónde:

$$A = 589.30 \text{ g.}$$

$$B = 2406.40 \text{ g.}$$

$$D = 1,400 \text{ ml.}$$

$$\text{Densidad} = \frac{2406.40 - 589.30}{1400} = 1.30 \text{ g/ml}$$

#### **3.8.1.6.3 Densidad para solución con 1400 g de sulfato.**

Dónde:

$$A = 589.30 \text{ g.}$$

$$B = 2938.70 \text{ g.}$$

$$D = 1,800 \text{ ml.}$$

$$\text{Densidad} = \frac{2938.70 - 589.30}{1800} = 1.30 \text{ g/ml}$$

#### **3.8.1.7 Extracción y preparación de los agregados.**

La muestra debe ser obtenida y reducida a la fracción requerida para el ensayo de acuerdo (ASTM C 75 AASHTO T 27) y para cuarteo de la muestra (ASTM C 702 AASHTO T 248).

##### **3.8.1.7.1 La muestra del agregado fino.**

Debe pasar toda por el tamiz de 9.50 mm (3/8"). La muestra deberá ser de cantidad suficiente para poder obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican a continuación.

Tabla 39: Especificación de las fracciones del agregado fino

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (gr)
1	4.75 - 9.50	100
2	2.36 - 4.75	100
3	1.18 - 2.36	100
4	0.60 - 1.18	100
5	0.30 - 0.60	100

Fuente: Manuales de ensayos de suelos y materiales hormigones administradora Boliviana de carreteras

Si la muestra contiene menos del 5% de alguno de los tamaños especificados anteriormente, ese tamaño no debe ser ensayado.

La muestra de agregado fino se lava bien sobre el tamiz de 300  $\mu\text{m}$  (N° 50); se seca hasta masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado.

Figura 22: Lavado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1.7.2 La muestra del agregado grueso.

La muestra debe tener como mínimo el tamaño suficiente para obtener de ella, las cantidades de las fracciones indicadas que estén presentes en cantidad del 5% como mínimo.

Tabla 40: Especificación de las fracciones del agregado grueso

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de la subfracción (g)	Masa de fracción (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25,0-37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19-25,0	500 ± 30	
3	12,5 -19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75-9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36-4,75	100 ± 5	100 ± 5

Fuente: Manuales de ensayos de suelos y materiales hormigones administradora Boliviana de carreteras

La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) y se separa en las diferentes fracciones, por tamizado hasta que no pase más material. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por separado, en los recipientes para ensayo.

### 3.8.1.8 Ciclos de inmersión y secado.

- Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de magnesio a una temperatura aproximada de  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante un período de  $17 \pm 1$  horas, de manera que el nivel de la solución queden cubiertos por una capa de solución superior a 15 cm. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas.



- Después del período de inmersión, la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . Se secan las muestras hasta masa constante a la temperatura ambiente. Se debe establecer el tiempo requerido para obtener masa constante.
- Repita cinco veces el ciclo de inmersión y secado.
- Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- Tamice cada fracción de áridos en el tamiz que fue retenido al iniciar el ensayo, pese y registre la masa del material retenido como la masa final de la fracción correspondiente.

Figura 23: Muestras con sulfato



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Muestras horneas y enfriando a temperatura ambiente



Fuente: Elaboración propia

Según las especificaciones ASTM C 88 AASHTO T 104 del desgaste o pérdida de material no debe de superar el 18% con el empleo del sulfato de magnesio.

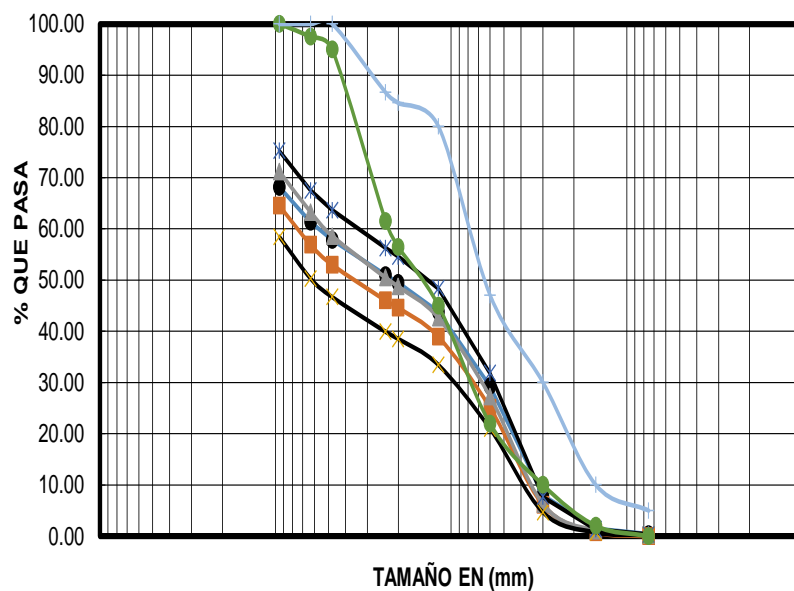
### 3.9 Criterios generales.

El presente capítulo contiene los resultados de las pruebas realizadas a los agregados de las canteras en estudio, es decir resultados de ensayos a agregados de extracción natural sin procesamiento alguno.

### 3.10 Análisis de las granulometrías según AASHTO T 27.

#### 3.10.1 Análisis granulométrico del río Camacho la zona del Valle de la Concepción.

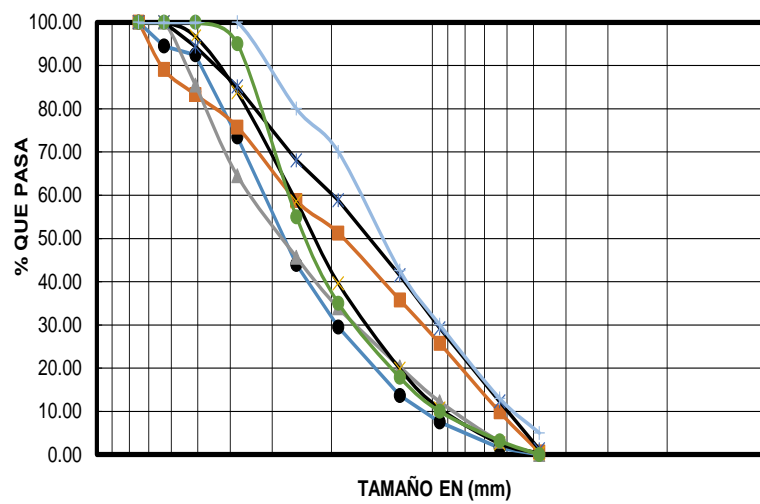
Figura 25: Curva granulométrica del agregado fino del Valle de Concepción



Fuente: Elaboración propia



Figura 28: Curva granulométrica del agregado grueso de San Nicolás

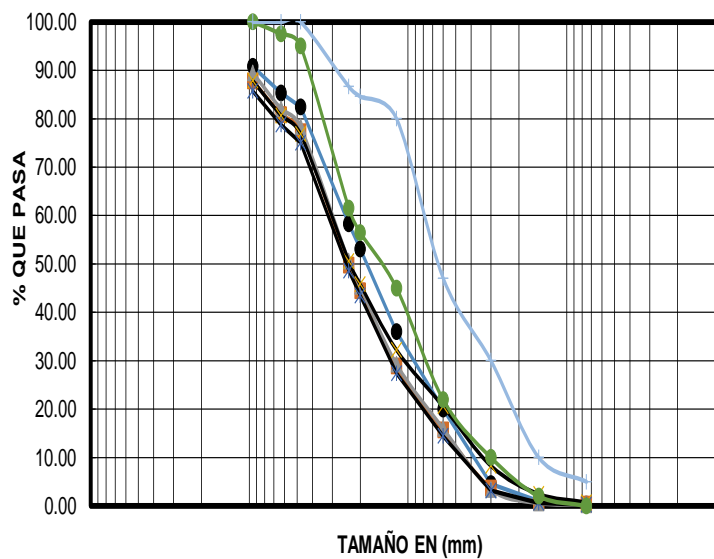


Fuente: Elaboración propia

La granulometría de agregado grueso y fino está mal graduada según la norma AASHTO T 27 teniendo una grava mal graduada y arena mal graduada en la zona de San Nicolás.

### 3.10.3 Análisis granulométrico de la quebrada de San José de Charaja.

Figura 29: Curva granulométrica del agregado fino de San José



Fuente: Elaboración propia



$$\% \text{ Promedio del Valle de Concepción} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 0.54 \%$$

Promedio del Valle de Concepción = 0.54 %.

$$\% \text{ Promedio de San Nicolás} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 0.60 \%$$

Promedio de San Nicolás = 0.60 %.

$$\% \text{ Promedio de San José} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 1.49 \%$$

Promedio de San José = 1.49 %.

### 3.11.2 Resumen de resultados para 700 g de sulfatos de magnesio.

Tabla 42: Resumen de solidez con 700g de sulfato

Numero de ensayos	Valle de Concepción		San Nicolas		San Jose	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Ensayo 1	1.02	0.56	1.11	1.10	1.23	3.34
Ensayo 2	0.96	0.52	1.07	1.08	1.16	4.08
Ensayo 3	1.01	0.59	1.05	1.31	1.12	3.74
Ensayo 4	0.97	0.61	1.14	1.39	1.06	3.59
Promedio	0.99	0.57	1.09	1.22	1.14	3.69

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Promedio del Valle de Concepción} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 0.78 \%$$

Promedio del Valle de Concepción = 0.78 %.

$$\% \text{ Promedio de San Nicolás} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 1.16 \%$$

Promedio de San Nicolás = 1.16 %.

$$\% \text{ Promedio de San José} = \frac{\text{grueso} + \text{fino}}{2} = 2.41 \%$$

Promedio de San José = 2.41%.

### 3.11.3 Resumen de resultados para 1,400 g de sulfatos de magnesio.

Tabla 43: Resumen de solidez con 1400g de sulfato

Numero de ensayos	Valle de Concepción		San Nicolas		San Jose	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Ensayo 1	1.44	1.29	2.47	2.47	3.18	5.49
Ensayo 2	2.27	1.26	2.25	2.46	2.76	5.45
Ensayo 3	1.77	1.26	2.03	2.45	2.82	4.82
Ensayo 4	1.91	1.24	2.27	2.53	2.71	4.60
Promedio	1.85	1.26	2.26	2.48	2.87	5.09

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Promedio del Valle de Concepción} = \frac{\text{GRUESO} + \text{FINO}}{2} = 1.56 \%$$

Promedio del Valle de Concepción = 1.56 %.

$$\% \text{ Promedio de San Nicolás} = \frac{\text{GRUESO} + \text{FINO}}{2} = 2.37 \%$$

Promedio de San Nicolás = 2.37 %.

$$\% \text{ Promedio de San José} = \frac{\text{GRUESO} + \text{FINO}}{2} = 3.98 \%$$

Promedio de San José = 3.98 %.

### 3.12 Análisis de resultados del desgaste de los Ángeles.

Tabla 44: Resumen del desgaste de los Ángeles del suelo natural

Numero de ensayos	Valle de Concepción grueso	San Nicolas grueso	San Jose grueso
Ensayo 1	26.40	25.94	27.88
Ensayo 2	25.52	26.29	28.10
Ensayo 3	25.96	25.55	27.97
Promedio	25.96	25.93	27.98

Fuente: Elaboración propia

% Promedio del Valle de Concepción = 25.96 %.

% Promedio de San Nicolás = 25.93 %.

% Promedio de San José = 27.98 %.

Tabla 45: Resumen del desgaste de las muestras con 500g de sulfato

Numero de ensayos	Valle de Concepción grueso	San Nicolas grueso	San Jose grueso
Ensayo 1	27.89	28.25	30.31
Ensayo 2	28.04	28.72	30.17
Ensayo 3	27.36	28.97	31.06
Promedio	27.76	28.65	30.51

Fuente: Elaboración propia

% Promedio del Valle de Concepción = 27.76 %.

% Promedio de San Nicolás = 28.65 %.

% Promedio de San José = 30.51 %.

Tabla 46: Resumen del desgaste de las muestras con 700g de sulfato

Numero de ensayos	Valle de Concepción grueso	San Nicolas grueso	San Jose grueso
Ensayo 1	30.63	31.81	34.09
Ensayo 2	31.17	31.09	33.23
Ensayo 3	31.55	30.91	33.06
Promedio	31.12	31.27	33.46

Fuente: Elaboración propia

% Promedio del Valle de Concepción = 31.12 %.

% Promedio de San Nicolás = 31.27 %.

% Promedio de San José = 33.46 %.



Tabla 47: Resumen del desgaste de las muestras con 1400g de sulfato

Numero de ensayos	Valle de Concepción grueso	San Nicolas grueso	San Jose grueso
Ensayo 1	34.37	35.86	38.76
Ensayo 2	34.92	34.97	37.87
Ensayo 3	34.51	35.30	37.64
Promedio	34.60	35.38	38.09

Fuente: Elaboración propia

% Promedio del Valle de Concepción = 34.60 %.

% Promedio de San Nicolás = 35.38 %.

% Promedio de San José = 38.09 %.

### 3.13 Resumen del desgaste para ver cuánto aumenta por influencia del sulfato.

Tabla 48: Resumen del desgaste del Valle de Concepción

Desgaste del Valle de Concepción				
Numero de ensayos	Natural (%)	Con 500 g de sulfato (%)	Con 700 g de sulfato (%)	Con 1400 g de sulfato (%)
Ensayo 1	26.40	27.89	30.63	34.37
Ensayo 2	25.52	28.04	31.17	34.92
Ensayo 3	25.96	27.36	31.55	34.51
Promedio	25.96	27.76	31.12	34.60

Fuente: Elaboración propia

El Valle de la Concepción tiene un desgaste de 25.96 % con el suelo natural, el suelo que tiene 500 g de sulfato aumenta 1.80 % de desgaste, el suelo que tiene 700 g de sulfato aumenta 5.16 % y el suelo que tiene 1400 g de sulfato aumenta 8.64 % más suelo natural.

Tabla 49: Resumen del desgaste de San Nicolás

Desgaste de San Nicolás				
Numero de ensayos	Natural (%)	Con 500 g de sulfato (%)	Con 700 g de sulfato (%)	Con 1400 g de sulfato (%)
Ensayo 1	25.94	28.25	31.81	35.86
Ensayo 2	26.29	28.72	31.09	34.97
Ensayo 3	25.55	28.97	30.91	35.30
Promedio	25.93	28.65	31.27	35.38

Fuente: Elaboración propia

San Nicolás tiene un desgaste de 25.93 % con el suelo natural, el suelo que tiene 500 g de sulfato aumenta 2.72 % de desgaste, el suelo que tiene 700 g de sulfato aumenta 5.34 % y el suelo que tiene 1400 g de sulfato aumenta 9.45 % más suelo natural.

Tabla 50: Resumen del desgaste de San José

Desgaste de San Jose				
Numero de ensayos	Natural (%)	Con 500 g de sulfato (%)	Con 700 g de sulfato (%)	Con 1400 g de sulfato (%)
Ensayo 1	27.88	30.31	34.09	38.76
Ensayo 2	28.10	30.17	33.23	37.87
Ensayo 3	27.97	31.06	33.06	37.64
Promedio	27.98	30.51	33.46	38.09

Fuente: Elaboración propia

San José tiene un desgaste de 27.98 % con el suelo natural, el suelo que tiene 500 g de sulfato aumenta 2.53 % de desgaste, el suelo que tiene 700 g de sulfato aumenta 5.48 % y el suelo que tiene 1400 g de sulfato aumenta 10.11 % más suelo natural.

### 3.14 Curva de porcentaje de sulfato y desgaste.

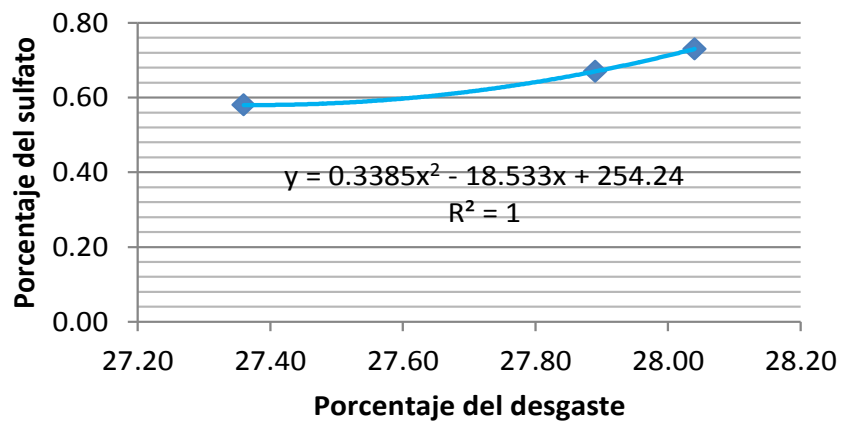
Tabla 51: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del VC

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
28.04	0.73
27.89	0.67
27.36	0.58

Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del VC

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste del Valle de Concepción



Fuente: Elaboración propia

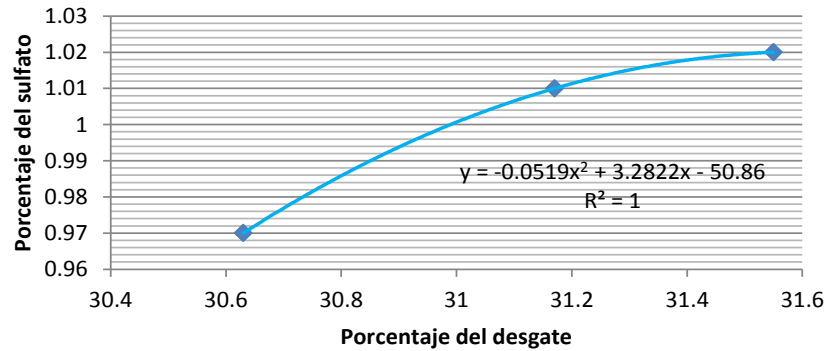
Tabla 52: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del VC

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
31.55	1.02
31.17	1.01
30.63	0.97

Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del VC

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste del Valle de la Concepción



Fuente: Elaboración propia

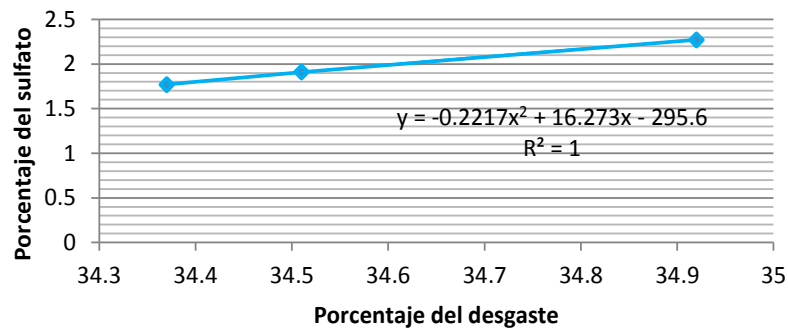
Tabla 53: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del VC

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
34.92	2.27
34.51	1.91
34.37	1.77

Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del VC

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste del Valle de la Concepción



Fuente: Elaboración propia

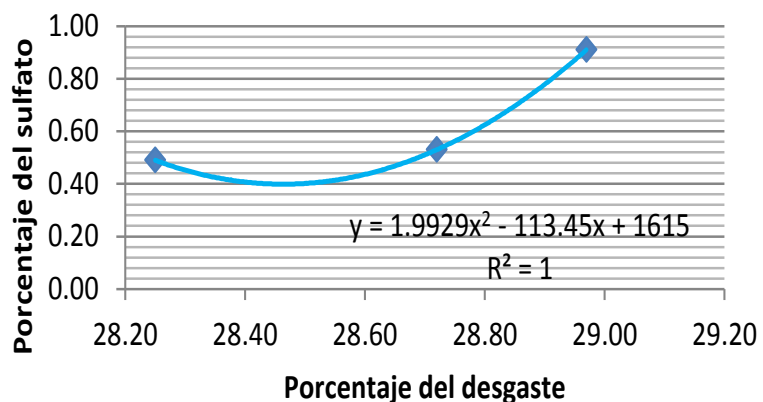
Figura 54: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SN

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
28.97	0.91
28.72	0.53
28.25	0.49

Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SN

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Nicolas



Fuente: Elaboración propia

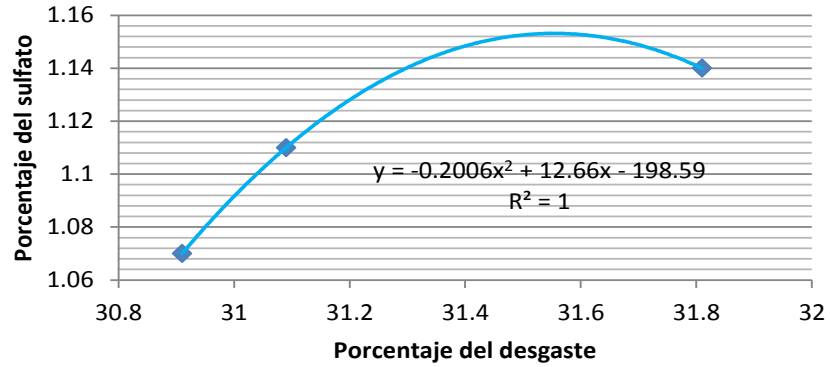
Tabla 55: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SN

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
31.81	1.14
31.09	1.11
30.91	1.07

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SN

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Nicolas



Fuente: Elaboración propia

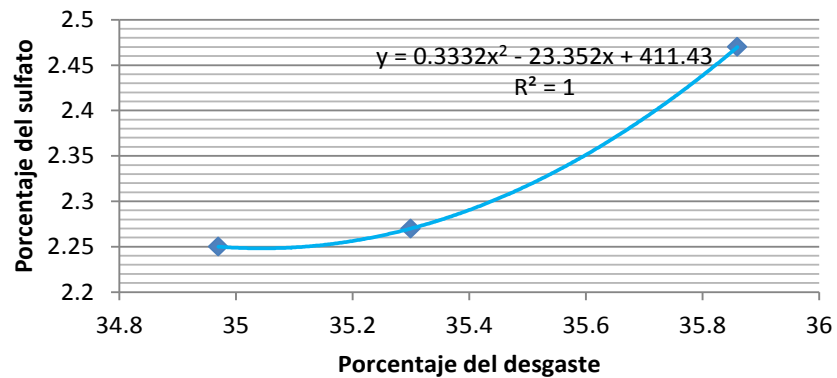
Tabla 56: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SN

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
35.86	2.47
35.30	2.27
34.97	2.25

Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SN

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Nicolas



Fuente: Elaboración propia

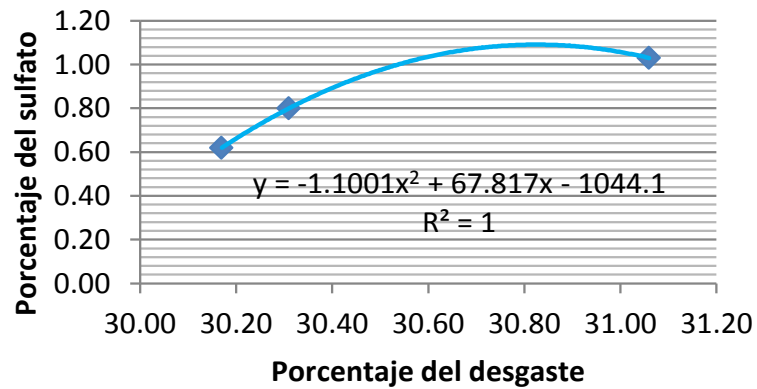
Tabla 57: Porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SJ

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
31.06	1.03
30.31	0.80
30.17	0.62

Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 500g de sulfato del SJ

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Jose



Fuente: Elaboración propia

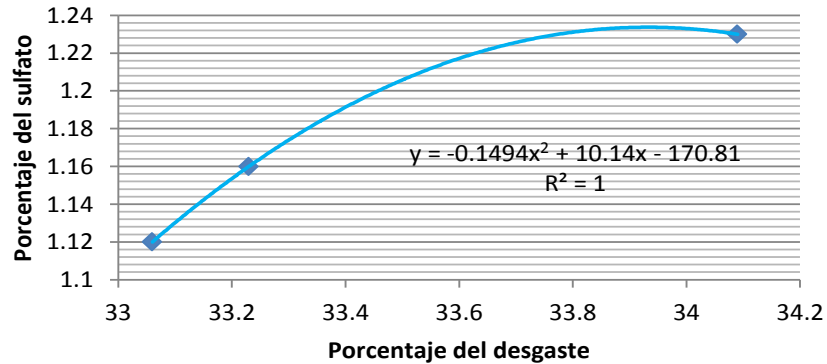
Tabla 58: Porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SJ

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
34.09	1.23
33.23	1.16
33.06	1.12

Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SJ

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Jose



Fuente: Elaboración propia

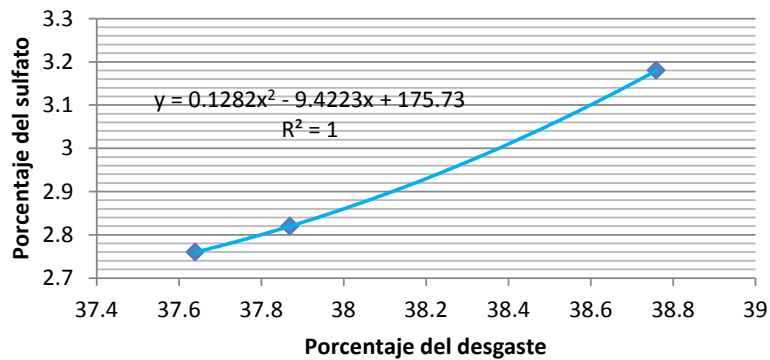
Tabla 59: Porcentajes de sulfato y desgaste con 1400g de sulfato del SJ

Desgaste de Angeles	Perdida por sulfatos
38.76	3.18
37.87	2.82
37.64	2.76

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Curva con porcentajes de sulfato y desgaste con 700g de sulfato del SJ

### Curva de porcentaje de sulfato vs desgaste de San Jose



Fuente: Elaboración propia



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo, contiene los resultados obtenidos de los ensayos con sulfato de magnesio y su tratamiento estadístico, la prueba de hipótesis de la investigación.

#### 4.1 Análisis estadístico del desgaste con 500 g de sulfato de magnesio.

Tabla 60: Desgaste con 500 g de sulfato magnesio

Numero de ensayos	Valle de Concepción		San Nicolas		San Jose	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Ensayo 1	0.73	0.46	0.13	0.92	0.62	2.75
Ensayo 2	0.54	0.39	0.91	0.61	1.03	1.94
Ensayo 3	0.58	0.45	0.53	0.62	0.61	2.10
Ensayo 4	0.67	0.51	0.49	0.55	0.80	2.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Estadística descriptiva del desgaste con 500g de sulfato del agregado grueso

Estadística	Porcentaje que pasa agregado grueso			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	0.73	0.91	1.03	
Mínimo	0.54	0.13	0.61	
Media (X)	0.64	0.52	0.82	0.66
Desviación muestral	0.08	0.32	0.17	
Desviación poblacional	0.07	0.28	0.15	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Estadística inferencial del desgaste con 500g de sulfato del agregado grueso

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.08	0.32	0.17
Error medio de la media	0.04	0.00	0.09
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.08	0.00	0.17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Estadística descriptiva del desgaste con 500g de sulfato para agregado fino

Estadística	Porcentaje que pasa agregado fino			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	0.51	0.92	2.75	
Mínimo	0.39	0.55	1.94	
Media (X)	0.45	0.74	2.35	1.18
Desviación muestral	0.05	0.15	0.33	
Desviación poblacional	0.04	0.13	0.29	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Estadística inferencial del desgaste con 500g de sulfato para agregado fino

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.05	0.15	0.33
Error medio de la media	0.03	0.08	0.17
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.05	0.15	0.32

Fuente: Elaboración propia

Media de cada muestral (u) = 0.92.

#### 4.2 Análisis estadístico del desgaste con 700 g de sulfato de magnesio.

Tabla 65: Desgaste con 700 g de sulfato magnesio

Numero de ensayos	Valle de Concepción		San Nicolas		San Jose	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Ensayo 1	1.02	0.56	1.11	1.10	1.23	3.34
Ensayo 2	0.96	0.52	1.07	1.08	1.16	4.08
Ensayo 3	1.01	0.59	1.05	1.31	1.12	3.74
Ensayo 4	0.97	0.61	1.14	1.39	1.06	3.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Estadística descriptiva del desgaste con 700g de sulfato del agregado grueso

Estadística	Porcentaje que pasa agregado grueso			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	1.02	1.14	1.23	
Mínimo	0.96	1.05	1.06	
Media (X)	0.99	1.10	1.15	1.08
Desviación muestral	0.02	0.04	0.07	
Desviación poblacional	0.02	0.03	0.06	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Estadística inferencial del desgaste con 700g de sulfato del agregado grueso

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.02	0.04	0.07
Error medio de la media	0.01	0.02	0.04
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.02	0.04	0.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Estadística descriptiva del desgaste con 700g de sulfato para agregado fino

Estadística	Porcentaje que pasa agregado fino			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	0.61	1.39	4.08	
Mínimo	0.52	1.08	3.34	
Media (X)	0.57	1.24	3.71	1.84
Desviación muestral	0.04	0.13	0.30	
Desviación poblacional	0.03	0.11	0.26	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Estadística inferencial del desgaste con 700g de sulfato para agregado fino

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.04	0.13	0.30
Error medio de la media	0.02	0.07	0.15
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.04	0.13	0.29

Fuente: Elaboración propia

Media de cada muestral (u) = 1.46.

#### 4.3 Análisis estadístico del desgaste con 1400 g de sulfato de magnesio.

Tabla 70: Desgaste con 1400 g de sulfato magnesio

Numero de ensayos	Valle de Concepción		San Nicolas		San Jose	
	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino
Ensayo 1	1.44	1.29	2.47	2.47	3.18	5.49
Ensayo 2	2.27	1.26	2.25	2.46	2.76	5.45
Ensayo 3	1.77	1.26	2.03	2.45	2.82	4.82
Ensayo 4	1.91	1.24	2.27	2.53	2.71	4.60
Promedio	1.85	1.26	2.26	2.48	2.87	5.09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: Estadística descriptiva del desgaste con 1400g de sulfato del agregado grueso

Estadística	Porcentaje que pasa agregado grueso			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	2.27	2.47	3.18	
Mínimo	1.44	2.03	2.71	
Media (X)	1.86	2.25	2.95	2.35
Desviación muestral	0.34	0.18	0.19	
Desviación poblacional	0.29	0.16	0.17	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Estadística inferencial del desgaste con 1400g de sulfato del agregado grueso

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.34	0.18	0.19
Error medio de la media	0.17	0.09	0.10
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.33	0.18	0.19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73: Estadística descriptiva del desgaste con 1400g de sulfato para agregado fino

Estadística	Porcentaje que pasa agregado fino			
	VC	SN	SJ	
Población (N)	4	4	4	
Máximo	1.29	2.53	5.49	
Mínimo	1.24	2.45	4.60	
Media (X)	1.27	2.49	5.05	2.93
Desviación muestral	0.02	0.03	0.36	
Desviación poblacional	0.02	0.03	0.31	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Estadística inferencial del desgaste con 1400g de sulfato para agregado fino

Parámetros	Porcentajes		
	VC	SN	SJ
Error de variables	0.02	0.03	0.36
Error medio de la media	0.01	0.02	0.18
Nivel de confianza 95% Z=	1.96	1.96	1.96
Error probable	0.02	0.03	0.35

Fuente: Elaboración propia

Media de cada muestral (u)= 2.64.

Del análisis estadístico nos da como resultado la media muestral para el estudio con 500g de sulfato de magnesio de 0.92, media muestral para el estudio con 700g de sulfato

de magnesio de 1.46 y media muestral del estudio con 1400g de sulfato de magnesio de 2.64. El estudio fue realizado con un nivel de confianza de 95%.

#### 4.4 Planteamiento de la hipótesis.

##### 4.4.1 Hipótesis de le investigación.

El sulfato de magnesio en cantidades saturables incide y deteriora en la durabilidad de los agregados.

##### 4.4.2 La media muestral y poblacional.

Tabla 75: La media muestral

Con 500 g de sulfato	0.92
Con 700 g de sulfato	1.46
Con 1400 g de sulfato	2.64
Media de la muestral	1.67

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Ho = Hipótesis nula o hipótesis de trabajo.

H1 = Hipótesis alterna.

Xm = La muestra muestral = 1.67.

Mp = La muestra poblacional = 18 % máximo.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} = \mu \\ H_1: \bar{X} \neq \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \leq \mu \\ H_1: \bar{X} > \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \geq \mu \\ H_1: \bar{X} < \mu \end{array} \right.$$

$$H_0: X_m \leq M_p$$

$$1.67 \leq 18 \text{ Cumple.}$$

$$H_1: X_m \geq M_p$$

$$1.67 \geq 18 \text{ No cumple.}$$

#### 4.4.3 Nivel de significancia.

El nivel de significancia o error se considera como  $\alpha = 0.05$ .

Por lo que el nivel de confianza es  $NC = 95\%$ .

#### 4.4.4 Determinación de la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula $H_0$ .

$\alpha = 0.05$ .

$NC = 95\%$ .

Tabla 76: Distribución t Student de dos colas

		Intervalo de confianza					
		90%	95%	98%	99%	99.9%	99.9%
GL	Nivel de significancia de una prueba de una cola $\alpha$						
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005	
	Nivel de significancia de una prueba de una cola $\alpha$						
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001	
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599	
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924	
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869	
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408	
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041	
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.5 Determinación de la función pivotal.

Cuando  $n \leq 30$ .

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (n-1) \text{ GL}$$

Calculo de t de Student para aceptar o rechazar la hipótesis.

Tabla 77: Desviación estándar

Con 500 g de sulfato	Grueso	0.19
	Fino	0.18
Con 700 g de sulfato	Grueso	0.04
	Fino	0.16
Con 1400 g de sulfato	Grueso	0.24
	Fino	0.14
Desviación estándar		0.16

Fuente: Elaboración propia

Calculo de t de Student.

$$\bar{x} = 1.67.$$

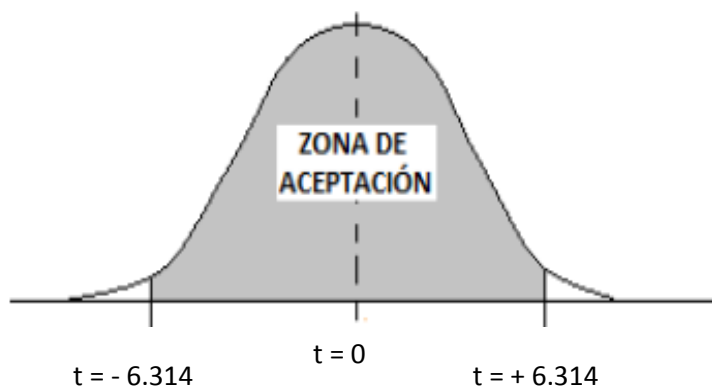
$$n = 1.$$

$$u = 18.$$

$$\sigma = 0.16.$$

$$t = \frac{1.67 - 18}{\frac{0.16}{\sqrt{1}}} (1 - 1) = 0$$

Figura 40: Curva de distribución normal



Fuente: Elaboración propia

Con una confianza del 95 % se acepta la hipótesis nula o hipótesis de trabajo entonces se rechaza la hipótesis alternativa por lo tanto podemos concluir que la hipótesis fue bien planteada.



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallan conclusiones y recomendaciones que a partir de resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo de investigación permite brindar información y de alguna manera guiar a los profesionales involucrados con el empleo de agregados en la construcción de las medidas que se pueden seguir para seguir para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón con agregados de la región cuando estos se deben de emplear en suelos con altas concentraciones de sulfatos o cuando deben de soportar las condiciones del sitio de menor a mayor grado de afectación.

#### 4.1 Conclusiones.

- Para identificar las canteras se debe de indagar realizando consultas a gente involucrada en la construcción para posteriormente seleccionarlas de acuerdo a su frecuencia e explotación y su distancia de acarreo, estos criterios servirán como base para establecer y definir las canteras más convenientes.
- Para que los sondeos y toma de muestras sean lo más objetivo posible, se deberá realizarlo con responsabilidad para que los ensayos de caracterización sean, representativos los agregados finos y agregados gruesos que serán sometidos al método del sulfato de magnesio.

De la misma manera y de acuerdo al criterio de la investigadora se debe tomar con mucha responsabilidad, para que se tenga el dato exacto de la procedencia y calidad.

- Con los resultados obtenidos se puede concluir que el mejor agregado para el uso en hormigones, es el proveniente del rio Camacho localidad el Valle de la Concepción, este agregado es más resistente a la acción de sulfato de magnesio y desgaste de los Ángeles, lo cual con los ensayos realizados se puede ver qué porcentaje de sulfato que más le afecta es el dado por norma, (Se obtuvo un porcentaje de pérdidas con el ensayo de solidez con sulfato de magnesio igual a 1.56 % de igual forma obtuvo el desgaste mediante la máquina de los Ángeles igual al 34.60 %).

Por el contrario el agregado de agregado de la quebrada de San José obtuvo resultados más desfavorable ofreciendo menor calidad en su resistencia de solidez y durabilidad pero aún se encuentra en el límite de las especificaciones para uso en hormigones, (Se obtuvo un porcentaje de pérdidas con el ensayo de solidez con sulfato de magnesio igual a 3.98 % de igual forma obtuvo el desgaste mediante la máquina de los Ángeles igual al 38.09 %).

Los resultados obtenidos de San Nicolás se puede concluir que tiene menor resistencia que del proveniente del Valle de la Concepción pero mayor resistencia que proveniente del San José, (Se obtuvo un porcentaje de pérdidas con el ensayo de solidez con sulfato de magnesio igual a 2.37 % de igual forma obtuvo el desgaste mediante la máquina de los Ángeles igual al 35.38 %).

Para pavimento rígido las partículas de agregados ideales deben de ser duras, resistentes y durables debiendo cumplir requisitos mínimos de calidad, durabilidad en sulfato de magnesio máximo 18 %, desgaste de los Ángeles máximo 40 % en este caso se establece que canteras estudiadas cumplen.

- La investigación realizada se obtuvo datos que cumplen por norma y se pudo elaborar especificaciones técnicas, tablas comparativas para dejar como aporte para futuras investigaciones.

#### **4.2 Recomendaciones.**

- Se recomienda que al momento de elaborar las muestras de cada tamaño de agregado deben seguir las normas de ensayo, el tiempo de cada ciclo debe ser el mismo para todas las muestras, las muestras deben ser cubiertas con algún aislante para evitar la evaporación de la solución y la contaminación de las mismas para obtener resultados mejores.
- Actualmente en la ciudad de Tarija se cuenta con laboratorios para realizar los ensayos que determinen la solidez de los agregados a pesar de eso no es un método muy usado porque no se ha dado la importancia necesaria a este tema en la construcción, la implementación de laboratorios en el campo de los agregados y la construcción deben ponerse a la altura de las crecientes exigencias poniendo a punto

los metodos y normas tecnicas mas usuales asi como capacitar permanentemente al personal tecnico.

- Al momento de realizar la eleccion de los aridos que seran empleados para la construccion de obras es imprescindible conocer la solidez de los agregado frente a la accion de sulfatos o someterlos a pruebas que determinen la solidez del agregado para evitar expansiones representativas con fisuras y agrietamientos que afectaran la estructura del agregado y deterioros rapidos del hormigon, lo cual llevara a refaccionamientos y reparaciones costosas.
- Se recomienda que si desea continuar con el trabajo de investigacion se debe de ampliar el area de estudio para tener datos mas representativos de cada cantera.